

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Studium reliéfu povrchu ocelového substrátu na
přilnavost ochranných povlaků**

**Study of Influence Relief Surface Steel Substrate on
Adhesion of Protective Coatings**

Student :
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Ladislav Polanský
doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ladislav Polanský**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Studium reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných
povlaků
Study of Influence Relief Surface Steel Substrate on Adhesion of
Protective Coatings

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte charakter reliéfu povrchu ocelového substrátu po předúpravách povrchu.
2. Prostudujte mechanismus adheze ocelový substrát - ochranný povlak.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:


MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.
ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě18.5.2012.....

.....*Polansky*.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě18.5.2012.....

.....Polanský'.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Ladislav Polanský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Wolkerova 110

Lanškroun, Ostrovske předměstí

56301

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POLANSKÝ, Ladislav. *Studium reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 84 s., Diplomová práce, vedoucí doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

Diplomová práce je zaměřena na studium reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků. Vstupní teoretická část je účelně sestavena tak, aby nás obecně seznámila s poznatky využívaných nebo vyskytujících se v experimentálních pracích. Teoretická část nás seznamuje s tématy, jakými jsou charakteristika a vlastnosti povrchu, geometrický popis povrchu, mechanismus adheze substrát-povlak a v neposlední řadě organické nátěrové systémy. Experimentální část je zaměřena na studium a hodnocení přilnavosti dvou typů nátěrových systémů k povrchu ocelového substrátu, na korozní odolnost těchto nátěrových systémů a patřičnou rozdílnost obou nátěrových systémů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

POLANSKÝ, Ladislav. *Study of Influence Relief Surface Steel Substrate on Adhesion of Protective Coatings*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical university of Ostrava, 2012, 84 p., Master thesis, head doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

This thesis is focused on the study of surface relief on a steel substrate adhesion of protective coatings. Initial theoretical part is purposefully designed so that we generally acquainted with the knowledge used or present in the experimental work. The theoretical part introduced the topics such as characterization and surface properties, geometric description of the surface, coating substrate adhesion mechanism and finally the organic coating systems. The experimental part is focused on the study and evaluation of two types of coatings adhesion to the surface of the steel substrate on the corrosion resistance of the coating system and proper differentiation of both coating systems.

OBSAH

0 ÚVOD.....	4
1 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI POVRCHU.....	5
1.1 Povrch substrátu.....	5
1.2 Povrchová napětí.....	6
1.2 Smáčivost povrchu.....	7
2 GEOMETRICKÝ POPIS POVRCHU	8
2.1 Mikrogeometrie povrchu	8
2.2 Geometrické vlastnosti povrchu	9
2.3 Parametry profilu drsnosti	10
2.4 Metody měření profilu drsnosti	13
2.4.1 Měření pomocí dotykového profilometru	13
3 MECHANISMUS ADHEZE SUBSTRÁT - POVLAK	15
4 ORGANICKÉ NÁTĚROVÉ SYSTÉMY	16
4.1 Rozdělení nátěrových systémů	16
4.2 Složení nátěrových systémů.....	17
4.2.1 Antikorozní pigmenty	19
4.3 Nátěrové systémy s pigmenty na bázi fosforečnanu zinečnatého.....	20
4.4 Nanášení nátěrových systémů.....	21
4.4.1 Nanášení nátěrových systémů pneumatických stříkáním.....	21
5 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU	22
5.1 Otryskávání	22
5.2 Omílání	23
5.3 Broušení.....	23
6 VLASTNOSTI VODY PITNÉ A DESTILOVANÉ.....	24
7 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	26
7.1 Charakteristika vzorků.....	27
7.2 Specifikace nátěrového systému	29
7.3 Označení vzorků	29
7.4 Stanovení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1	30
7.5 Stanovení prašnosti povrchu dle ČSN ISO 8502-3	31
7.6 Stanovení drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287	35
7.7 Aplikace nátěrového systému	37
7.8 Stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808	39

7.9 Stanovení pH nátěrového systému.....	41
7.10 Stanovení VOC látek	43
7.11 Stanovení lepivosti nátěrového systému.....	45
7.12 Zkouška přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 16276-2	47
7.13 Zkouška přilnavosti křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2.....	49
7.14 Korozní zkouška v solné mlze dle ČSN EN ISO 9227.....	52
7.15 Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2.....	54
7.16 Hodnocení degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628-8	55
7.17 Nanoindentace vrchní části nátěrového systému dle ČSN EN ISO 14577.....	57
7.18 Fázové rozhraní na elektronovém mikroskopu.....	59
8 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	60
8.1 Výsledky stanovení čistoty povrchu	60
8.2 Výsledky stanovení drsnosti povrchu	61
8.3 Výsledky stanovení VOC látek.....	64
8.4 Hodnocení přilnavosti nátěrového systému	65
8.5 Hodnocení korozní odolnosti.....	67
8.5.1 Hodnocení stupně puchýřkování.....	67
8.5.2 Hodnocení degradace nátěrového systému	68
8.6 Výsledky nanoindentace	69
8.7 Výsledky fázového rozhraní na elektronovém mikroskopu	70
9 ZÁVĚR	72
10 POUŽITÁ LITERATURA.....	75
SEZNAM PŘÍLOH.....	79
SEZNAM OBRÁZKŮ	80
SEZNAM TABULEK.....	82
SEZNAM GRAFŮ	84

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

<i><u>ZKRATKA</u></i>	<i><u>VÝKLAD</u></i>	<i><u>JEDNOTKA</u></i>
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
ISO	Mezinárodní norma	
C	uhlík	
Mn	mangan	
Si	křemík	
P	fosfor	
S	síra	
Al	hliník	
Ni	nikl	
Cr	chrom	
Cu	měď	
Re _{min}	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]
A5	tažnost	[%]
Rp	největší výška výstupku profilu	[μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rz	maximální výška profilu	[μm]
Ra	střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
Rq	kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu	[μm]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu	[-]
Rku	špičatost posuzovaného profilu	[-]
λ _s	filtr profilu definující rozhraní mezi drsností a krátkovlnnými složkami	[mm]
λ _c	filtr profilu definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti	[mm]
λ _f	filtr profilu definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami přítomnými na povrchu	[mm]

0 ÚVOD

Diplomová práce je účelně vedena k obeznámení s problematikou vlivu reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků. Ačkoliv na přilnavost nátěrových systémů má vliv velké množství aspektů, můžeme říci, že největší vliv na přilnavost má charakteristika kotvícího profilu. Dalším neméně důležitým aspektem je i čistota povrchu, na který je nátěrový systém aplikován.

Diplomová práce je rozdělena do dvou samostatných částí. První teoretická část práce je zaměřena na studium a obecné seznámení s teoretickými poznatky, ze kterých vycházíme při pozdějším zpracovávání experimentální části práce. Důležité teoretické poznatky jsou z oblasti charakteristiky a vlastností povrchu, především pak geometrický popis povrchu a jeho adhezní vlastnosti v systému substrát-povlak. Dále jsou zmíněny poznatky o organických nátěrových systémech. V experimentální části se zabývám zkoušením a hodnocením dvou nátěrových systémů, resp. jednoho nátěrového systému ve dvou variantách. Hlavními body zkoušení těchto nátěrových systémů je hodnocení přilnavosti k povrchu ocelového substrátu, která se vyhodnocuje na základě vlivu a vhodnosti kotvícího profilu pro daný nátěrový systém. Dalším bodem je vyhodnocení korozní odolnosti, přesněji rozdílnost v korozní odolnosti mezi oběma sledovanými nátěrovými systémy. Výsledkem experimentálních prací je celkové zhodnocení a porovnání obou sledovaných nátěrových systémů.

1 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI POVRCHU

1.1 Povrch substrátu

Obecně je povrch označován za makroskopickou schránku objektu, jenž vytváří námi viditelnou hranici mezi základním substrátem a okolním prostředím. Povrch základního substrátu určuje vlastní vzhled a vytváří fázové rozhraní mezi substrátem a okolním prostředím. Objekty s větším rozměrem a relativně malým poměrem k jeho objemu mají chemické a fyzikální vlastnosti povrchu odvozeny především od vlastností základního substrátu. Na druhé straně, u objektů menších rozměrů s velkým poměrem k jeho objemu jsou chemické a fyzikální vlastnosti povrchu určeny hlavně povrchem substrátu [9].

Vlastnosti povrchu, které jsou funkční, nejsou závislé jen na viditelné vnější vrstvě, ale především na vrstvách podpovrchových. Podpovrchovými vrstvami jsou myšleny horní nanovrstva, tenký film oxidace, vnější povrchová vrstva a celková vrstva [9].

Tab. 1 - Rozdělení oblastí povrchu [12]

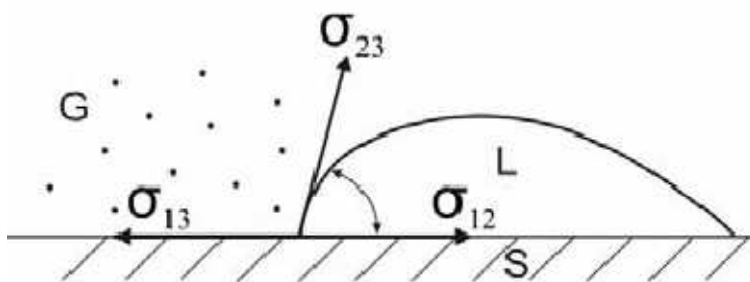
<i>Oblast</i>	<i>Rozměr</i>	<i>Funkční ovlivnění</i>
Horní nanovrstva	0,1 nm	Adsorpce, chemická reaktivita
Tenký film oxidace	0,1 až 100 nm	Odrazivost, tření, koroze, tepelná vodivost
Vnější povrchová vrstva	0,1 až 10 μm	Deformace struktury
Celková vrstva	> 100 μm	Adheze, nátěry

Povrch zpravidla vzniká při výrobě a zaujímá charakteristické vlastnosti užitého výrobního procesu, při kterém byl povrch vytvářen. Z tohoto důvodu rozdělujeme povrchy kovových substrátů dle základní výrobní technologie na povrchy vzniklé hutním zpracováním nebo vytvořené zpracováním strojním [9].

1.2 Povrchová napětí

Povrchová napětí jsou výsledkem působení molekul kapaliny, kde se vzájemně přitahují. Tyto přitažlivé síly působí uvnitř kapaliny a šíří se všemi směry, tím se síly navzájem kompenzují. Ovšem na povrchu, kde vytváří hranici plynná fáze, síly kompenzovány nejsou. Výsledkem tedy je působení síly kolmé na povrch kapaliny ve směru dovnitř kapaliny. Kapalina se tak snaží minimalizovat počet částic na povrchu a vytvářet nejmenší plochu na povrchu [8, 32].

Povrchové napětí definujeme jako sílu působící kolmo v povrchu k libovolnému myšlenému řezu na 1m délky. Při zvyšování teploty se hodnota povrchového napětí snižuje. Povrchové napětí kapalin můžeme snížit látkami nazývanými se mezipovrchově aktivní látky nebo naopak zvýšit nebo jinak změnit hodnotu povrchového napětí látkami mezipovrchově inaktivními [32].



Obr. 1 - Rovnováha mezipovrchových napětí mezi různými fázemi [32]




Při rovnováze mezipovrchových napětí mezi fázemi S (pevná fáze), fází L (kapalná fáze) a fází G (plynná fáze) platí vztahy dané Youngovou rovnicí, kde θ je úhel smáčení.

$$\sigma_{13} - \sigma_{12} = \sigma_{23} \cdot \cos\theta \quad (1.2) \quad [32]$$

1.3 Smáčivost povrchu

Smáčivost povrchu definujeme jako vlastnost nebo schopnost kapaliny přilnout k povrchu pevných substrátů. Tato schopnost je velmi důležitá z hlediska zajištění adheze nátěrového systému k povrchu substrátu. Dobrá smáčivost zajišťuje i kvalitní očištění povrchu a rovnoměrné pokrytí povrchu nátěrovým systémem. Proces smáčení je úměrně ztěžován s rostoucí hodnotou povrchového napětí [12, 32].

Tab. 2 - Smáčení povrchu [13]

	Typ smáčení	Typ povrchu
$\theta = 0^\circ$	Dokonalé smáčení 	Tuhý povrch je lyofilní (např. sklo, oxidy a hydroxidy kovů atd...)
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	Dobré smáčení 	
$90^\circ < \theta < 180^\circ$	Špatné smáčení 	Tuhý povrch je lyofobní (např. pevné uhlovodíky a fluorované deriváty, polymery, listy rostlin)

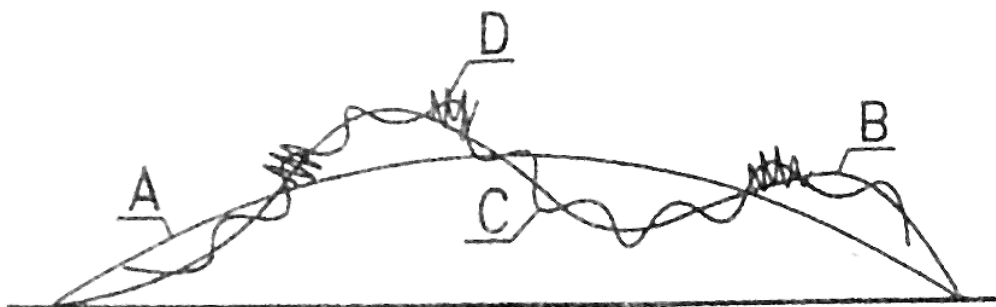
2 GEOMETRICKÝ POPIS POVRCHU

2.1 Mikrogeometrie povrch [9]

Žádný z povrchů substrátů není dokonale geometricky rovinný, výjimku netvoří ani povrchy technické. Odchyly nerovnosti vznikají již při přípravě povrchu a jsou důsledkem působení vnějších sil nebo okolního prostředí. Rozeznáváme základní tři druhy nerovností:

- *mimořádné nerovnosti (makronerovnosti)*, jedná se například o trhliny a nepravidelné rýhy (A)
- *vlnitost povrchu*, jde o periodicky opakující se nerovnost vznikající při obrábění důsledkem chvěním stroje, nástroje nebo obráběné součásti (B)
- *drsnost povrchu (mikronerovnost)*, je podmíněna technologickým pochodem (C), její charakter se pravidelně opakuje a je hlavním kritériem pro hodnocení jakosti povrchu

Na mikronerovnost, tj. drsnost povrchu se mimo jiné superponují ultramikronerovnosti, které jsou dány snahou dosáhnout nejstabilnějšího stavu krystalického povrchu. (D)



Obr. 2 - Schéma druhů nerovností [9]

2.2 Geometrické vlastnosti povrchu [4, 15]

Struktura povrchu vyplívá z mikrogeometrie povrchu a je členěna na jednotlivé složky podle rozteče příslušných nerovností. Jedná se o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, dále složku vlnitosti a složku s největší roztečí nerovnosti určenou základním profilem.

Prvotním nositelem informace je profil. Profilů se vyznačuje několika druhy, jež jsou definovány normou ČSN EN ISO 4287.

Nejběžněji užívané druhy profilů:

Profil povrchu – vzniká jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.

Základní profil (P) – je úplný profil po aplikování krátkovlnného filtru λ_s . Reprezentuje základnu pro číslcové zpracování profilu pomocí filtru profilu a pro výpočet a hodnocení parametrů drsnosti.

Profil drsnosti (R) – jde o profil odvozený ze základního profilu, kdy jsou potlačeny složky dlouhovlnné složky použitím filtru profilu λ_c . Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů drsnosti.

Profil vlnitosti (W) – je profilem odvozeným při postupné aplikací filtru profilu λ_f a filtru λ_c na základním profilu.

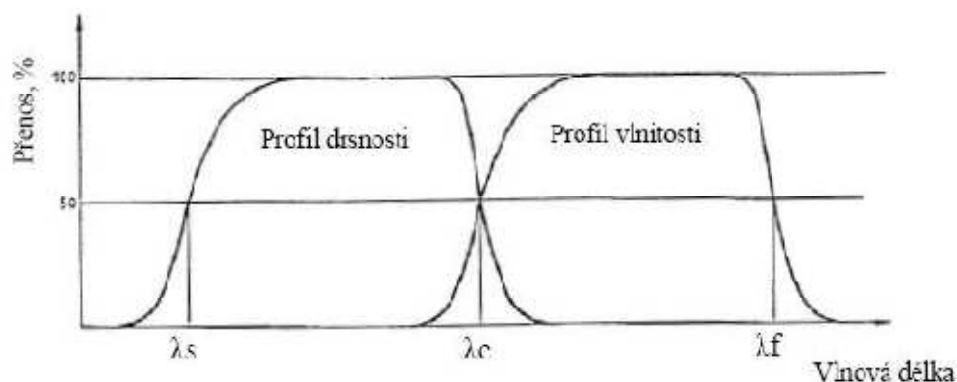
Pro zjištění výše jmenovaných druhů profilů se využívá filtrace. Filtrace je proces, kdy jsou odstraňovány nežádoucí složky profilu. Hodnota, jež odděluje dlouhovlnné složky od krátkovlnných, se nazývá mezní vlnová délka filtru.

Typy filtru profilu:

Filtr λ_s – filtr definující rozhraní mezi drsností a krátkovlnnými složkami

Filtr λ_c – filtr definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

Filtr λ_f – filtr určuje rozhraní mezi vlnitosti a delšími složkami přítomnými na povrchu



Obr. 3 - Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [15]

2.3 Parametry profilu drsnosti [4, 15]

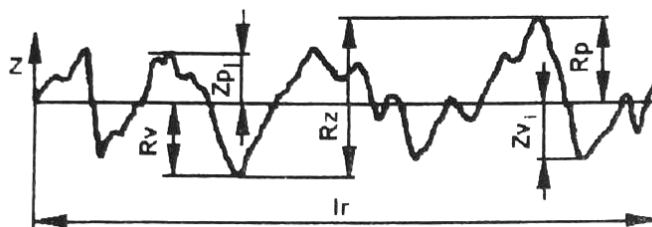
Norma ČSN EN ISO 4287 rozděluje parametry drsnosti do tří základních skupin. První skupinou jsou výškové nebo také amplitudové parametry, druhou skupinou jsou parametry délkové (šířkové) a poslední skupinou parametry tvarové.

Nejvíce využívanými a měřenými jsou parametry výškové (amplitudové). Tyto typy parametrů jsou následující:

Největší výška výstupku profilu R_p – je výškou Z_p největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky l_r

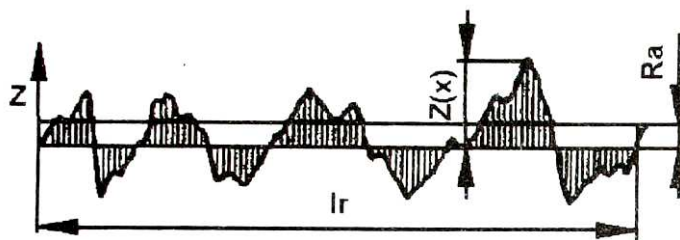
Největší hloubka prohlubně profilu R_v – je hloubkou Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r

Největší výška profilu R_z – je součtem výšky Z_p největšího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky l_r



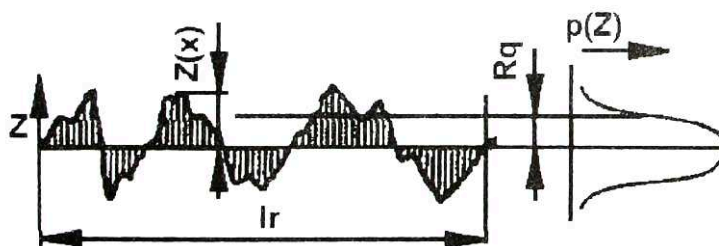
Obr. 4 - Parametry drsnosti R_p , R_v a R_z [4]

Střední aritmetická úchylka profilu R_a – je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Vypovídající schopnost parametru R_a je nízká, parametr R_a nereaguje citlivě na výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu.



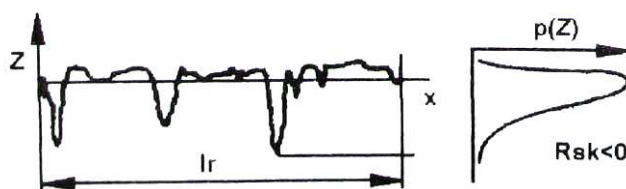
Obr. 5 - Parametr drsnosti R_a [4]

Průměrná kvadratická úchylka profilu R_q – je průměrná kvadratická hodnota pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Parametr R_q má význam při statickém pozorování profilu povrchu, jelikož zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic.



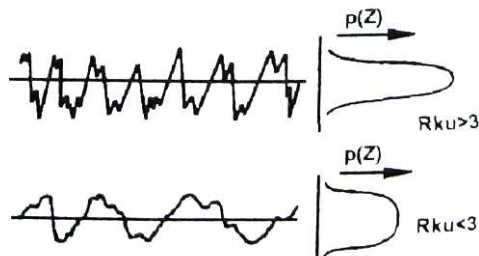
Obr. 6 - Parametr drsnosti R_q [4]

Šikmost posuzovaného profilu R_{sk} – je podíl průměrných hodnot třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky l_r . Negativní hodnota R_{sk} odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu.



Obr. 7 - Parametr drsnosti R_{sk} [4]

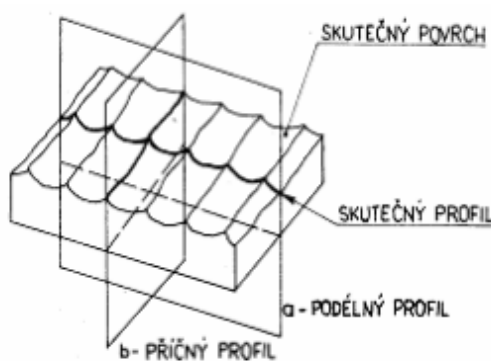
Špičatost posuzovaného profilu R_{ku} – je podíl průměrných hodnot čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky l_r . Při normálním rozdělení souřadnic profilu $R_{ku}=3$, ostřejší výstupky a rýhy $R_{ku}>3$ a naopak.



Obr. 8 - Parametr drsnosti R_{ku} [4]

Mezi méně využívané parametry tvarové řadíme průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $R\Delta q$ a materiálový podíl profilu (nosný podíl) $R_{mr}\%$. Do skupiny délkových (šířkových) parametrů zařazujeme průměrnou vzdálenost prvků profilu R_{Sm} .

Profil drsnosti ve valné většině případů není ve všech směrech povrchu totožný. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb a drsnost ve směru podélném, tj. drsnost ve směru řezného pohybu.



Obr. 9 - Příčný a podélný směr drsnosti povrchu [7]

2.4 Metody měření profilu drsnosti

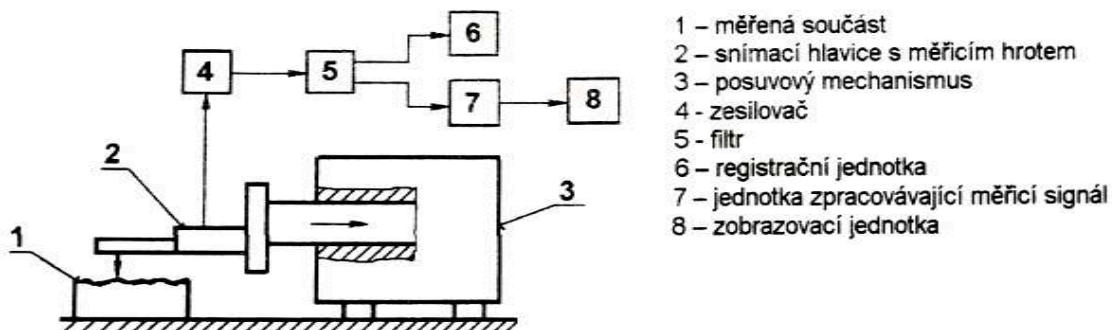
V současné době se vyskytuje celá řada metod pro měření profilu drsnosti. Současnost nabízí vedle značně využívaných 2D měřících metod i metody pro měření 3D topografie povrchu [10].

Metody měření 2D drsnosti povrchu

Nejpoužívanějšími přístroji pro vyhodnocení drsnosti povrchu jsou stále měřidla využívající mechanicko-elektrického principu. Hlavním zástupcem metod měření drsnosti povrchu je měření pomocí dotykového profilometru.

2.4.1 Měření pomocí dotykového profilometru

Princip měřidla spočívá v dotykovém snímání povrchu diamantovým hrotem. Hrot generuje mechanický signál, který se následně transformuje na signál elektrický. Přístroj tento signál vyhodnotí a graficky zpracuje záznam profilu drsnosti na daném povrchu nebo vyústí v číselné hodnoty příslušných parametrů drsnosti [4].



Obr. 10 - Princip měřícího profilometru [4]

Mezi výhody měření dotykovými profilometry patří velká rozlišovací schopnost, přímé měření parametrů drsnosti povrchu a fakt, že není kladen velký důraz na čistotu povrchu z hlediska mastnoty a zbytků materiálu. Naopak nevýhodami jsou destrukce povrchů u měkkých materiálů, možnost zpracování drsnosti povrchu pouze ve 2D a relativně pomalý proces měření [10].

Přesnost měření dotykovými profilometry je dána poloměrem zaoblení snímacího hrotu (2, 5, 10 μ m), měřicí silou (0,00075N), vrcholovým úhlem snímacího hrotu (90°, 60°) a rychlostí změny měřicí síly.

Dalšími 2D metodami stanovení drsnosti povrchu je kontrola porovnávání s etalony drsnosti, kde pouhým okem nebo za pomoci mikroskopu porovnáváme drsnost sledovaného povrchu s příslušným etalonem [10].

Interferenční metoda měření drsnosti povrchu, kde princip spočívá ve skládání vln, které mají stejnou frekvenci a konstantní fázový posuv, čímž dosáhneme využití jednoho zdroje, když se světlo rozdělí a opět spojí. Interference se v okuláru jeví jako soubor světlých a tmavých křivek [10].

Dále pak měření optickou stínovou metodou, měření optickým profilometrem a metoda světelného řezu.

Metody měření 3D drsnosti povrchu

Metody měření 3D drsnosti povrchu jsou dotykové nebo bezdotykové. Mezi dotykové metody měření drsnosti povrchu se řadí metoda, jež využívá indukčního snímače. Tato metoda využívá mechanicko-elektrického principu obdobně jako měřicí profilometry [10].

Mezi bezdotykové metody řadíme měření pomocí CLA snímače. Metoda využívá rozklad světla optikou se spektrální aberací. Světlo je rozkládáno dle vlnových délek, kde se v každém bodě povrchu zaostří jen určitá vlnová délka. Poté se světlo od povrchu odráží a dopadá na mřížku spektrometru, která ho vychýlí na CCD senzor. Senzor následně vyhodnotí maximální amplitudu odraženého spektra odpovídající souřadnici snímaného bodu povrchu [10].

Další bezdotykovou metodou měření je pomocí laserového snímače. V tomto případě vysíláme laserový paprsek vůči hodnocenému povrchu, kde se odráží zpět do čočky CCD snímače, který pak určí přesnou polohu daného měřeného bodu [10].

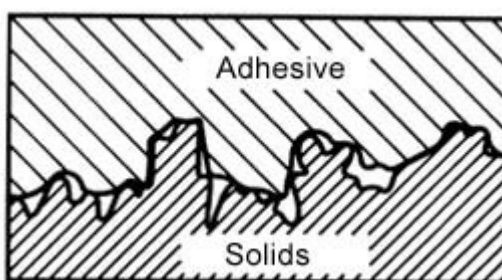
3 MECHANISMUS ADHEZE SUBSTRÁT – POVLAK

Pojem adheze nebo také přilnavost lze popsat jako soubor sil vztažených na jednotku plochy, kde zapříčiňují provázání dvou rozdílných fází vůči sobě. Tyto síly mají charakter buď chemický, fyzikální nebo mechanický. V povrchových úpravách to zjednodušeně znamená, že jde o schopnost nátěrového systému pevně přilnout k jeho podkladovému substrátu. Nejčastěji pak k substrátu ocelovému. Adheze se řadí mezi důležité vlastnosti systému tenké vrstvy a substrátu [9].

Adheze se odvíjí od několika faktorů, mezi které se řadí druh substrátu a nátěrového systému, technologie nanášení nátěrového systému a druh povrchové úpravy substrátu.

Vznik adheze je prakticky popsána následujícími mechanismy [9]:

1. **Adheze mechanická** – vznik zapříčiňují dvě adhezní fáze, které do sebe čistě mechanicky zapadají (fáze si navzájem vyplňují trhlinky a póry)
2. **Chemická adheze** – dochází mezi dvěma fázemi, které vůči sobě vytvářejí chemickou sloučeninu a tím dochází k jejich spojení. Spojení je tedy podmíněno iontovými, kovalentními a vodíkovými vazbami.
3. **Difuzní adheze** – jde o složitý proces, kdy jsou dvě fáze spojeny za pomoci difuze, jež zapříčiňuje vzájemné provázání (pronikání)
4. **Disperzní adheze** – spojení je způsobeno přitažlivostí Van der Waalsových sil mezi molekulami
5. **Elektrostatická adheze** – přilnavost je dána elektrostatickými silami, které vznikají mezi rozdílně nabitými povrchy spojovaných fází



Obr. 11 - Princip mechanické adheze [33]

4 ORGANICKÉ NÁTĚROVÉ SYSTÉMY

Organické nátěrové systémy se řadí mezi pórovité organické povlaky využívající antikoročních pigmentů a inhibitorů koroze pro zlepšení jejich antikoročních vlastností. Představují pro nás nejběžnější a nejekonomičtější způsob ochrany materiálu před korozí. Organické nátěrové systémy fungují na principu zamezování přístupu vody a agresivních koročních složek k povrchu materiálu a tím tak zvyšují životnost materiálu. Nanesený nátěrový systém je jednovrstvý nebo vícevrstvý celistvý ochranný povlak [3].

4.1 Rozdělení nátěrových systémů [3]

- a) Podle účelu* – ochranné, dekorativní, speciální, signální a maskovací
- b) Podle obsahu pigmentu* – pigmentové nebo transparentní
- c) Podle filmotvorných složek* – asfaltové, polyesterové, celulózo-ové, chlórkaučukové, silikonové, lihové, syntetické, polyuretanové a emulzní
- d) Podle nanášecí technologie* – stříkací, nanášené štětcem, stěrkou, nanášené pomocí elektrických sil, nanášené máčením a poléváním
- e) Podle teploty zasychání* – schnoucí na vzduchu (20°C) a vypalovací (100°C a více)
- f) Podle použití* – vnitřní, venkovní a speciální
- g) Podle pořadí nátěrových vrstev* – napouštěcí, základní, podkladové a vrchní

4.2 Složení nátěrových systémů [3]

Organické nátěrové systémy jsou složeny z následujících základních složek:

a) Pojivové složky:

Pojivové složky nebo také filmotvorné složky jsou netěkavé látky, jejichž úkolem je vytvářet na povrchu tenký souvislý film a vázat na sebe částice pigmentu a plniv. Tyto složky ovlivňují vlastnosti nátěrových systémů, jakými jsou přilnavost, pružnost, tvrdost, ošetruvzdornost, ohebnost či lesk. Filmotvornými látkami jsou vysychavé oleje, přírodní živice, umělé živice, deriváty celulózy a kaučuku a asfalty. Z vysychavých olejů jsou to nejčastěji epoxidové, epoxysterové, pyluretanové, akrylátové, alkydové a silikonové pryskyřice.

b) Rozpouštědla:

Rozpouštědla neboli těkavé složky mají hlavní úkol a to rozpouštět pojiva a upravovat jejich viskozitu (konzistenci). Mezi nejběžnější rozpouštědla se řadí benzíny, benzeny, alkoholy, ketony, glykolétery, ředidla, aromatické uhlovodíky, estery a terpentýnové silice.

c) Pigmenty:

Jde o částičky organického a anorganického původu rozptýlené v pojivu. Pigmenty jsou složky, které vnášejí do nátěrového systému funkční vlastnosti. Funkčními vlastnostmi jsou například tvrdost, tepelná a korozní odolnost, krycí schopnost a barevný odstín. U pigmentů rozlišujeme tři základní typy.

- *inhibitorové pigmenty* – jsou součástí především základních nátěrů. Jejich princip je ve vytváření pasivační vrstvy těžko rozpustných sloučenin na povrchu substrátů. Inhibitorové pigmenty jsou kyanamid olovnatý, zásaditý chroman olovnatý, zinkový prach a další.
- *neutrální pigmenty* – slouží pro zlepšení fyzikálních vlastností především vrchních nátěrů. Neutrálními pigmenty jsou titanová běloba, titaničitan olovnatý, chroman olovnatý, kysličníky železa a další.

- *stimulující pigmenty* – jde o speciální pigmenty vrchních nátěrů, jež jsou chemicky netečné a mají dobrou elektrickou vodivost. Jejich použití není vhodné u základních ochranných povlaků, kde mohou zapříčinit zrychlené koroze oceli.

d) Plnidla a barviva:

Plnidla jsou jemně rozemleté minerální látky, které tvoří kostru nátěrových filmů. Látky jsou nerozpustitelné v pojivech a vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrových systémů. Například zamezují smršťování filmu po vytvrzení. Plnidla by neměla ovlivňovat barevný odstín nátěrového systému, proto by měli být co nejsvětlejší. Plnidly jsou kaolin, talek, těživec a mramorové drti.

e) Aditiva:

Aditivy vnášejí do nátěrových systémů specifické vlastnosti. Zabraňují nátěrovým systémům nadbytečnému pění, želatinaci a omezují usazování pigmentů v nátěrových systémech. Navíc nátěrovým systémům zvyšují odolnost vůči povětrnostním podmínkám a odolnost vůči napadení mikroorganismy. Základní stavební složkou aditiv jsou kovová mýdla. Mezi aditiva patří sušidla, emulgátory, stabilizátory, urychlovače, katalyzátory a zvláčňovadla. Jejich využití je především při výrobě fermeží a olejových nátěrových hmot.

4.2.1 Antikorozní pigmenty**Tab. 3** - Přehled nejpoužívanějších netoxických antikorozních pigmentů [13]

Netoxické antikorozní pigmenty	
Fosforečnany a jejich modifikace	Fosforečnan zinečnatý – svými antikorozními vlastnostmi se blíží inhibičně účinným chromanovým pigmentům, fosforečnan zinečnatý – hlinitý, modifikovaný trifosforečnan hlinitý.
Boritany	Barium metaborát, borofosforečnan zinečnatý – oba typy se vyznačují vysokou hodnotou pH = 8 – 10. Z hlediska antikorozního jsou neúčinnější v počáteční fázi korozní ochrany.
Fosfosilikáty	Fosfokřemičitan vápenatý – barnatý, fosfokřemičitan vápenatý. Mají nízkou rozpustnost a jsou snášitelné se širokou paletou pojiv pro nátěrové hmoty. Působí jako katodické i anodické inhibitory.
Kovové práškové pigmenty	Práškový zinek, práškový hliník. Tyto pigmenty jsou určeny do vysoce korozně agresivního prostředí.
Molybdenany	Molybdenan zinečnatý, molybdenan zinečnatý – vápenatý, fosfo – molybdenan zinečnatý. Jsou anodickými typy netoxických inhibitorů koroze.
Iontoměničové pigmenty	matrice SiO ₂ s obsahem vápníku ve struktuře – tyto pigmenty nejlépe reagují na vlivy okolního prostředí.
Oxidy kovů	Oxid zinečnatý, spinely (oxid zinečnatý – železitý). Spinely snižují koncentraci pronikajících agresivních látek povlakem. Dokáží vázat Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O, NO _x , které by způsobily korozi podkladu.
Bariérové pigmenty	železitá slída skleněné vločky

4.3 Nátěrové systémy s pigmenty na bázi fosforečnanu zinečnatého

Pigmenty na bázi zinku mohou být ve formě zinkových částic (zinkového prachu) nebo chemických sloučenin. Zinkové částice mají obvykle kulový (angulární) tvar nebo lístkový (lamelární) tvar. Antikorozní vlastnosti nátěrových systémů jsou zvyšovány zmenšováním rozměru antikorozních částic, protože částice menších rozměrů vyplňují lépe póry nátěrových systémů a tím zabraňují průchodu miniaturních agresivních korozních složek nátěrovým systémem [9].

Nejpoužívanějšími zinkovými pigmenty jsou chemické sloučeniny fosforečnanů. Hlavním zástupcem je fosforečnan zinečnatý. Jedná se o netoxický, částečně rozpustitelný a dobře přilnavý antikorozní pigment. Ochranný efekt fosforečnanů se zakládá na působení vlhkosti, díky níž dochází k pomalé postupné hydrolyze fosfátu, přičemž vzniká hydroxid zinečnatý a sekundární fosfátové ionty. Ty mají schopnost vytvářet ochranné vrstvy především v anodické oblasti koroze. Princip je tedy ve vytváření pasivační vrstvy. Pasivační vrstva vzniká při styku pigmentů s korozním prostředím a následně tak uzavírá a utěšňuje póry v povlaku nátěrových systémů [9].

Nátěrové systémy s antikorozními inhibitory koroze na bázi fosforečnanu zinečnatého jsou vhodné do vysoce korozních prostředí. Tato vhodnost je dána vysokou antikorozní účinností prvku zinku. Nátěrové systémy obsahující pigmenty fosforečnanu zinečnatého vykazují dobrý rozliv, jsou dobře přilnavé k podkladovému substrátu, dobře zasychají a mají nižší náchylnost k puchýřkování oproti jiným nátěrovým systémům [12].

Na antikorozní účinnosti pigmentů fosforečnanu zinečnatého má důležitý vliv krystalová voda. Za pomoci krystalové vody pigmenty vytvářejí komplexní heterokyseliny. Tyto heterokyseliny následně reagují s hydroxylovými nebo karboxylovými skupinami pojiva a s ocelovým povrchem substrátu. Výsledkem je vytvoření těžce rozpustných inhibičních komplexů [12].

Výhodou antikorozních pigmentů na bázi fosforečnanu zinečnatého je jejich zdravotní nezávadnost. To je důvodem jejich vysokého a širokého využití, oproti dříve hodně používaných toxických pigmentů na bázi olova a šestimocného chrómu [12].

4.4 Nanášení nátěrových systémů [3]

Pro samotný nátěrový systém má velký vliv jeho způsob nanášení. Způsobů nanášení je celá řada a každý z nich je určitým způsobem výhodný, ale i nevýhodný. Proto způsob nanášení volíme podle velikosti, tvaru a množství součástí, dle požadovaných vlastností, kvality povrchu a ekonomických parametrů.

Způsoby nanášení nátěrových systémů:

- nanášení pomocí štětce
- nanášení navalováním
- nanášení máčením
- nanášení poléváním
- nanášení pneumatickým stříkáním
- stříkání ohřátých nátěrových hmot
- nanášení pomocí elektrických sil
- nanášení vysokotlakým stříkáním

4.4.1 Nanášení nátěrových systémů pneumatickým stříkáním [3]

Jedná se o nejvyžívanější a nejrozšířenější způsob pro nanášení nátěrových systémů. Především pak u velkých ploch, z důvodu požadavku na rovnoměrné rozložení nanášené vrstvy nátěrového systému.

Základem principu je pneumatická pistole, kterou proudí stlačený vzduch, jenž sebou strhává proud nátěrové hmoty tak, aby vytvořil kužel jemných kapiček, které se při dopadu na nanášený povrch slévají a vytváří tak rovnoměrný povlak.

Nanášení nátěrového systému se provádí ve stříkacích kabinách, z důvodu, aby se zamezilo úniku těkavých složek a rozstřík nátěrového systému byl co nejmenší. Tyto kabiny mohou být stolové, podlahové nebo tunelové. Typ kabiny je závislý od velikosti součásti pro nanášení nátěrového systému.

Výhodou této metody je poměrně velký výkon, malé nároky na fyzickou námahu pracovníka a nízké pořizovací náklady. Ve vhodných podmínkách je možné docílit povlaku nátěrového systému s minimální pórovitostí a minimálními ztrátami nátěrového systému. Tato technologie umožňuje nanášet většinu typů nátěrových systémů.

5 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU

Předběžné úpravy slouží k odstranění mechanicky a chemicky vázaných nečistot za účelem vytvoření kovově čistého povrchu. Mezi mechanicky vázané nečistoty řadíme mastnoty, zbytky past, mazadel a prach. Mechanicky vázané nečistoty se z pravidla odstraňují chemickými metodami, např. odmašťování. Chemicky vázanými nečistotami jsou oxidy, rez a okuje a odstraňujeme je mechanickými metodami, tj. otryskávání, omílání, broušení, leštění nebo kartáčování [3].

5.1 Otryskávání

Otryskávání je mechanický způsob úpravy kovových povrchů, kdy je unášen proud tryskacího média vůči povrchu. Tryskací médium musí dosahovat dostatečně velké rychlosti, aby při otryskávání vznikl charakteristický povrch s určitou morfologií. Morfologie povrchu je dána především rychlostí letu zrna, úhlem dopadu, jakostí substrátu, tvrdostí zrna a tvarem zrna použitého tryskacího média [3].

Technologie otryskávání je přínosná nejen z hlediska čištění povrchu, ale i pro vytváření kotvícího profilu na povrchu před aplikací nátěrových systémů. Dalším důvodem využití technologie otryskávání je zlepšování mechanických a vzhledových vlastností povrchů kovů [3].

Působení zrn otryskávacího média vůči povrchu zpravidla vyvolává plastickou deformaci povrchových vrstev. Těchto deformací se využívá za účelem zpevňování povrchových vrstev. Vliv na povrchové vlastnosti a jejich vzhled má rovněž tvar tryskacích těles. Například ostrohranná tvrdá tělesa mají dobré čistící účinky, nevýhodou však je částečné narušování základního materiálu. Kulatý tvar zrn nemá tak vysoké čistící účinky, ale jeho výhody lze spatřit ve zpevňování povrchových vrstev. Ovšem při nedokonalém očištění nastává možnost vnesení nečistot do povrchových vrstev. Dalším typem zrn mohou být zrna měkká, ty se při styku s povrchem tříští a povrch leští. Nevýhodou těchto zrn je poměrně vysoká prašnost. I z těchto důvodů se u otryskávání využívá suspenzí vody [3].

5.2 Omílání

Omílání se řadí do skupiny mechanických úprav povrchu. Princip spočívá ve vzájemném odírání opracovávaných předmětů a omílacích těles za přítomnosti brusiva a kapaliny v rotujícím bubnu nebo zvonu. Omílání využíváme pro odjehlování, leštění povrchu součástí, zpevňování povrchu a k odstranění zbytků tavidel po svařování a korozních zplodin. Úprava povrchu omíláním je ovlivněna průměrem bubnu a jeho otáčkami, dobou trvání omílacího procesu, druhem a velikostí omílacích těles, množstvím a druhem použité omílací kapaliny a v neposlední řadě zaplněním bubnu [3].

Mezi druhy omílacích těles patří přírodní nebo umělé kameny, jako křemen, čedič, žula, vápenec, umělý korund nebo kovová tělesa, organické hmoty, kožené odpady, textil a další [3].

Výhodami této technologie je odstraňování namáhavého broušení a leštění, snižování výrobních nákladů, zvyšování výrobnosti a snižování zmetkovosti. Naopak mezi nevýhody patří možnost poškození členitých výrobků a nerovnoměrný úběr [3].

5.3 Broušení

Broušení je mechanická metoda úpravy povrchu. Často je využívána před aplikací nátěrového systému nebo jako finální povrchová úprava. Broušení slouží k odstranění nežádoucích nerovností na povrchu z důvodu vytvoření vhodného povrchu pro nátěrové systémy nebo pro dosažení vysokého lesku [3].

U broušení jsou nástroji používány brusné kotouče nebo pásy. Brusné kotouče mohou být plstěné, dřevěné nebo látkové. Pásy mohou být buď papírové, nebo textilní s nalepeným brusivem o různé zrnitosti. Hrubovací broušení a hlazení slouží k odstranění větších nebo středních nerovností. Jemné hlazení a leštění pak slouží pro úpravu povrchů před galvanickým povlakováním [3].

6 VLASTNOSTI VODY PITNÉ A DESTILOVANÉ

Vlastnosti pitné vody

Pitná voda je zdravotně nezávadná kapalina. Její chemické a bakteriologické složení je takové, aby umožnila trvalé používání člověkem. V pitné vodě je obsaženo rozdílné množství organických a anorganických látek. Chemické a hygienické předpisy jsou předepsány státní normou [27].

Vlastnosti vody destilované

Destilovaná voda se vyznačuje tím, že je snížena až o 96% minerálních látek a až o 98% organických látek vůči vstupní vodě (vodě pitné), tím pádem nezpůsobuje tvorbu vodního kamene [28].

Destilovaná voda je čirá, bezbarvá, v silné vrstvě namodralá kapalina bez chuti a zápachu. Její chemický vzorec je H_2O . Za normálního tlaku 101 kPa má teplotu tání $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotu varu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Největší hustotu 1g/cm^3 má voda při $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hodnota relativní molekulové hmotnosti destilované vody je 18,015. Nejsnazší metodou získání téměř čisté vody ze směsi je destilace. Ovšem jedna z nejběžnějších současných metod je reverzní osmóza. Touto metodou získáváme vodu čistější nežli metodou destilace [28].

Kvalita destilované vody musí splňovat normu ČSN 68 4063.

Kvalita pitné vody je posuzována dle ukazatelů v následující tabulce:

Tab. 4 - Ukazatelé kvality pitné vody [26]

Ukazatel	Informace
<i>Teplota</i>	Optimální teplota z hlediska technického, i pokud jde o zdravotní a chuťové vlastnosti je $8\text{--}12^{\circ}\text{C}$
<i>pH</i>	Tento ukazatel pitné vody vyjadřuje stupeň kyselosti nebo zásaditosti. Voda s nižším pH je agresivní, rozrušuje materiály potrubí, s vyšším pH se snižuje účinnost desinfekce vody
<i>KNK 4,5</i>	Neutralizační kapacita neboli celková alkalita (zásaditost)
<i>ZNK 8,3</i>	Neutralizační kapacita neboli celková acidita (kyselost)
<i>CHSK - Mn</i>	Chemická spotřeba kyslíku manganistanem představuje celkový obsah látek (většinou organických), které se oxidují za daných podmínek. Do vody se tyto látky dostávají jako přirozená složka – huminové látky – nebo jako organické nečistoty

Tab. 4 – pokračování [26]

Ukazatel	Informace
<i>Železo Fe</i>	Železo se v různých formách ve vodě vyskytuje běžně. Vyšší obsah bývá v podzemních a kyselejších vodách. Může mít původ i v korozi vodovodního potrubí. Překročení mezní hodnoty je ze zdravotního hlediska neškodné.
<i>Mangan Mn</i>	Mangan v pitné vodě často doprovází zvýšený obsah železa. Případné zdravotní riziko může nastat až po dlouhodobém překračování nejvyšší mezní hodnoty
<i>Hliník Al</i>	Hliník není akutně toxický. Jeho výskyt ve vodě může být přírodního původu – vyluhováním z půd a podloží. Může se také jednat o zbytek hlinitých koagulátů používaných při úpravě vody.
<i>Amonné ionty NH_4^+</i>	Jsou produktem rozkladu dusíkatých organických látek. Ve vyšších koncentracích způsobují snížení účinnosti desinfekce, tvorbu dusitanů v potrubí.
<i>Dusitany NO_2^-</i>	V nadlimitním množství reagují v lidské krvi s hemoglobinem za vzniku methemoglobinu a způsobují riziko vnitřního dušení.
<i>Dusičnany NO_3^-</i>	Jsou konečným stupněm rozkladu dusíkatých organických látek a v nízkých koncentracích se běžně ve vodě nacházejí. Hlavním zdrojem jsou zemědělská hnojiva a odpadní vody.
<i>Enterokoky</i>	Tyto bakterie většinou pocházejí z trávicího traktu lidí a zvířat. V pitné vodě se nesmějí vyskytovat. Jejich nález znamená možné fekální znečištění nebo závady v úpravě a desinfekci vody.
<i>Koliformní bakterie</i>	Jedná se o skupinu bakterií, které mohou pocházet z trávicího traktu lidí a zvířat, ale i z půdy a tlejících rostlinných zbytků. V pitné vodě by se neměly vyskytovat. Jejich výskyt může být způsoben znečištěním vody.
<i>Zákal</i>	Zákal patří mezi základní jakostní ukazatele pitné vody. Jeho příčinou jsou jemně rozptýlené částice různého složení a nejčastěji minerálního původu. Překročení mezní hodnoty nemá zdravotní následky.
<i>Barva</i>	Pitná voda má být bezbarvá. Překročení mezní hodnoty není zdravotně rizikové. Zabarvení může být přírodního původu např. přítomnost huminových látek nebo barevných sloučenin kovů, jako železo či mangan. Mléčné zbarvení způsobuje vzduch rozpuštěný ve vodě.
<i>Tvrdost</i>	Tvrdost je charakterizována jako koncentrace dvojmocných kationtů vápníku, hořčíku, stroncia a barya, příp. všech vícemocných kationtů kovů alkalických zemin. Za hlavní složku tvrdosti vody je obvykle považován vápník. Ze zdravotního hlediska je obsah vápníku prospěšný. Velmi měkká 0 – 0,7 mmol/l Měkká 0,7 – 1,3 mmol/l Středně tvrdá 1,3 – 2,1 mmol/l Dosti tvrdá 2,1 – 3,2 mmol/l Tvrdá 3,2 – 5,3 mmol/l Velmi tvrdá >5,3 mmol/l

7 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Cílem experimentálních prací je porovnání nátěrového systému ředěného vodou destilovanou s nátěrovým systémem ředěným vodou pitnou. Při porovnávání budeme vycházet z výsledků stanovených dle dané metodiky experimentálních prací. Hlavními posuzovanými kritérii bude přilnavost obou nátěrových systémů a jejich krátkodobá korozní odolnost. Experimentální práce budou prováděny na dvou podkladových vzorcích STANDARD a TRUBKY.

Návrh řešení experimentálních prací:

- | | |
|-----------------------|--|
| Povrch vzorku | - čistota povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1
- prašnost povrchu dle ČSN ISO 8502-3
- drsnost povrchu vzorku dle ČSN EN ISO 8503
- (drsnoměr Mitutoyo Surftest-301- dle ČSN EN ISO 4287) |
| Nanášení barev | - pneumatické stříkání |
| Zkoušky nátěrů | - stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808
- stanovení pH nátěrového systému
- stanovení VOC látek (hmotnostní úbytek)
- stanovení lepivosti nátěrového systému
- mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276 – 2
- křížový řez dle ČSN EN ISO 16276 – 2
- korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227
- stupeň puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2
- degradace nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-8
- nanoindentace vrchní části nátěrové hmoty dle
ČSN EN ISO 14577-4
- fázové rozhraní na elektronovém mikroskopu |

7.1 Charakteristika vzorků

Pro experimentální práce byly použity dva typy podkladových materiálů. Prvním byl ocelový plech typu STANDARD a druhým ocelová trubka.

Celkem bylo pro experimentální práce použito 9 vzorků typu STANDARD a 9 vzorků TRUBEK.

Vzorky STANDARD

Vzorky STANDARD jsou nízkouhlíkové ocelové plechy válcované za studena o rozměrech 152 x 102 x 0,8mm. Vzorky byly dodány firmou LABIMEX s.r.o. a jde o materiál s obchodním označením (S-46). Vzorky jsou od výrobce vybaveny okem ve tvaru Q pro zavěšení a z jedné strany jsou dodávány s povrchovou úpravou broušením. Délé jsou vzorky výrobcem očištěny, odmaštěny a jsou plně připravené pro aplikaci nátěrového systému.

Tab. 5 - Obchodní označení vzorků STANDARD

Ocelový plech	
<i>Typ</i>	<i>Popis</i>
S	CRS SAE 1008/1010, 0.8mm, broušený z jedné strany

Tab. 6 - Mechanické vlastnosti ocelového plechu vzorku STANDARD

Mechanické vlastnosti	
<i>Mez kluzu Re_{min} [MPa]</i>	173
<i>Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]</i>	275
<i>Tažnost A_5 [%]</i>	30

Tab. 7 - Chemické složení ocelového plechu vzorku STANDARD

Chemické složení				
<i>Prvek</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
<i>Obsah [%]</i>	0,15 max.	0,60 max.	0,030 max.	0,035 max.

**Obr. 12** - Znázornění vzorku STANDARDVzorky TRUBEK

Jde o vzorky ocelových trubek z nízkoalokované oceli o rozměrech TR Ø26,9 x 2 – 90 mm. Ocelové trubky byly nařezané na požadovaný rozměr a dodány firmou ArcelorMittal Ostrava, a. s. Jde o typ trubky určený pro transport tekutých médií. Interní označení materiálu trubek je T01A.

Tab. 8 - Chemické složení vzorku TRUBEK

Chemické složení									
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al celk
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	min.
Obsah	0,07	0,50	0,17						0,020
[%]	-	-	-	0,025	0,020	0,30	0,30	0,30	-
	0,10	0,60	0,25						0,040

**Obr. 13** - Znázornění vzorku TRUBKA

7.2 Specifikace nátěrového systému

Sledovaným nátěrovým systémem je vodou ředitelný systém s nízkým obsahem VOC látek (těkavých látek). Nátěrový systém obsahuje mimo aditiv, těkavých složek, filmotvorných složek a plnidel taktéž fosfátové inhibitory koroze. Fosfátové inhibitory jsou na bázi sodíku a vysychavých solí s příměsí aminosloučenin. Nátěrový systém dále obsahuje antikorozní pigment oxiamino fosfátový komplex vápence a manganu.

Inhibitory koroze spolu s antikorozním pigmentem vytvářejí na kovovém povrchu substrátu ochranou tenkou vrstvu řádově o velikosti několika nanometrů. Inhibitor se adsorbuje při nanesení laku na povrch kovového substrátu a vzniká tak pasivační vrstva do 50 nm. Vhodný poměr ředění pro nanášení nátěrového systému je 1:10 až 1:15.

Nátěrový systém je dodán Ruskou federací. Jeho využití spočívá v krátkodobé ochraně ocelových substrátů před korozními vlivy. Jeho bližší specifikace bohužel nemohou být zveřejněny z důvodu výzkumu dalšího vývoje nátěrového systému.

7.3 Označení vzorků

Vzorky STANDARD

Vzorky STANDARD jsou značeny ve formě **S-RUS P N 1** nebo **S-RUS D P 1**.

S označení vzorku typu STANDARD

RUS označení vzorku s typem naneseného nátěrového systému

P jmenné označení vzorku – Polanský

N označuje pitnou vodu, použitou k ředění nátěrového systému

D označuje vodu destilovanou, použitou k ředění nátěrového systému

nano označení vzorku pro zkoušku nanoindentace

1 až 5 vlastní značící číslo vzorku

Vzorky TRUBEK

Vzorky TRUBKY jsou značeny ve formě **T-RUS P N 1** nebo **T-RUS D P 1**.

T..... označení vzorku typu TRUBKA

RUS..... označení vzorku s typem naneseného nátěrového systému

P..... jmenné označení vzorku – Polanský

N..... označuje pitnou vodu, použitou k ředění nátěrového systému

D označuje vodu destilovanou, použitou k ředění nátěrového systému

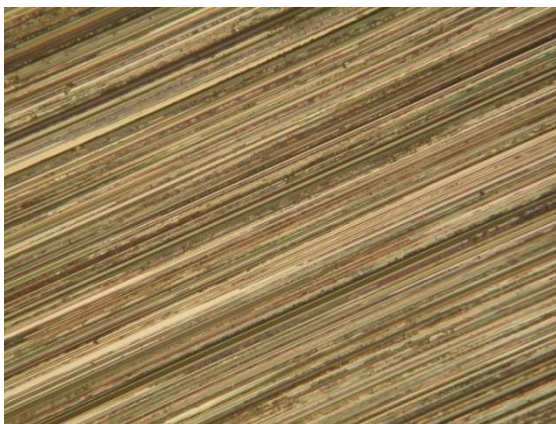
1 až 5..... vlastní značící číslo vzorku

7.4 Stanovení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

Čistota povrchu se stanovuje dle platné normy ČSN EN ISO 8501-1. Norma specifikuje stupně zarezivění a stupně přípravy povrchu ocelového substrátu a slouží jako prostředek pro vizuální vyhodnocování těchto stupňů. Tyto stupně jsou definovány slovním popisem a reprezentativními fotografiemi. Povrch vzorku se hodnotí vizuálně pouze okem na rozptýleném denním světle.

Vzorky STANDARD

Vzorky STANDARD byly dodány s povrchovou úpravou broušením. Vzorky byly již od výrobce očištěny, odmaštěny a plně připraveny pro aplikaci nátěrového systému. Vzorky vykazovaly kovově čistý povrch bez jakékoliv známky zarezivění a znečištění tedy stupeň St3.



Obr. 14 - Povrch broušeného vzorku STANDARD (zvětšení 100x)*

* Pozn.: Snímek povrchu broušeného vzorku byl pořízen na mikroskopu NEOPHOT 2.

Vzorky TRUBEK

Vzorky TRUBEK byly dodány výrobcem bez jakékoliv povrchové úpravy a nebyly žádným způsobem očištěny. Na povrchu vzorků byla zřejmá souvislá vrstva okují vzniklých technologickým zpracováním, tj. válcováním. Povrch nevykazoval po vizuální kontrole žádné větší stopy zarezivění.



Obr. 15 - Povrch válcovaného vzorku TRUBKA (zvětšení 100x)*

* Pozn.: Snímek povrchu broušeného vzorku byl pořízen na mikroskopu NEOPHOT 2.

7.5 Stanovení prašnosti povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Hodnocení prašnosti povrchu bylo provedeno podle normy ČSN ISO 8502-3, která stanovuje zbytky prachových částic na povrchu ocelového substrátu připraveného pro následnou aplikaci nátěrového systému. Využíváme metodu určující množství a velikost prachových částic na povrchu ocelového substrátu za pomoci samolepící (adhezní) pásky.

Za předpokladu, že vzorky typu STANDARD jsou všechny identické a vzorky typu TRUBKY taktéž, jsme stanovili prašnosti povrchu pouze na jednom reprezentativním vzorku typu STANDARD a TRUBKY.

Pomůcky pro stanovení prašnosti povrchu:

Pro stanovení prašnosti povrchu byla použita adhezní páska o šíře 25mm mající adhezní sílu při odtrhu nejméně 190N na metr šíře. Podklad pro zobrazení prachových částic ve formě listu papíru o bílé kontrastní barvě a lupa se zvětšením 10x pro samotné vyhodnocování prašnosti povrchu.

Postup stanovení prašnosti povrchu:

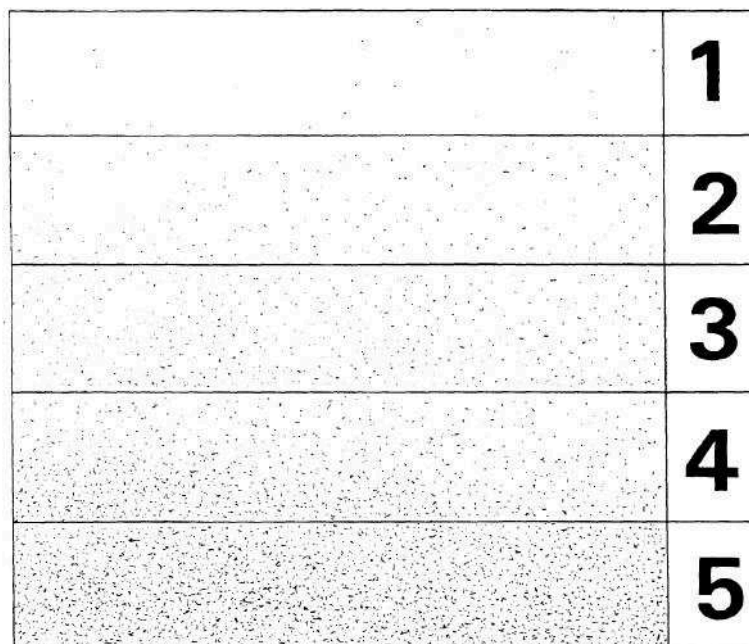
- Ustavení vzorku na rovnou a pevnou desku pro zaručení nehybnosti a stability vzorku
- Přiložení 150mm dlouhé adhezční pásky a pevné přitlačení pomocí tření palce k povrchu vzorku
- Sejmutí pásky se zachyceným prachem z povrchu a nalepení na zobrazovací podklad
- Vlastní hodnocení prašnosti povrchu pomocí lupy

Hodnocení prašnosti povrchu:

Hodnotí se množství a velikost prachových částic na dané adhezční pásce. Hodnocení množství prachových částic se provádí vizuálním porovnáním s odpovídajícím shodou na obrazové stupnici (viz. obr.16) a velikost prachových částic přiřazujeme k odpovídajícím popisům z tabulky s třídami velikostí (viz. tab.10). U obou těchto hodnocení zaznamenáváme nejbližší odpovídající číselné vyhodnocení.

Tab. 9 - Vstupní podmínky v laboratoři při stanovení prašnosti povrchu

Teplota	20°C
Vlhkost	54%

**Obr. 16** - Obrazová stupnice množství prachu dle normy ČSN ISO 8502-3 [16]

Tab. 10 - Třídy velikosti prachových částic dle normy ČSN ISO 8502-3 [16]




Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10x
1	částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 μ m v průměru)
2	částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 μ m a 100 μ m v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5mm v průměru
5	částice větší než 2,5mm v průměru

Výsledné hodnoty zjištěné při sledování prašnosti povrchu na vzorcích STANDARD a TRUBKY jsou následující:

Tab. 11 - Hodnocení prašnosti povrchu vzorku STANDARD

Reprezentativní vzorek STANDARD		Stupně hodnocení prašnosti povrchu	
Číslo zkoušky	Znázornění	Množství prachových částic	Velikost prachových částic
1		1	0
2		1	0
3		1	0

Tab. 12 - Hodnocení prašnosti povrchu vzorku TRUBKA

Reprezentativní vzorek TRUBKA			Stupně hodnocení prašnosti povrchu	
Číslo zkoušky	Znázornění		Množství prachových částic	Velikost prachových částic
1			5	2
2			5	2
3			5	2

7.6 Stanovení drsnosti povrchu vzorku dle ČSN EN ISO 4287

Stanovení profilu drsnosti povrchu bylo prováděno metodou nazývanou MITUTOYO SURFTEST pomocí přístroje MITUTOYO SJ 301. Jedná se o dotykovou metodu měření profilometrem. Měření hodnot drsnosti profilu probíhalo dle platné normy ČSN EN ISO 4287 a dle standardu měření ISO 1997.

Drsnost povrchu byla stanovena před vlastním nanášením nátěrového systému. Jelikož se jednalo o více stejných typů vzorků STANDARD a vzorků TRUBEK, hodnoty drsnosti se stanovovali pouze u jednoho reprezentativního vzorku typu STANDARD a jednoho vzorku TRUBKA. U měřeného vzorku STANDARD se určoval profil drsnosti v podélném i příčném směru vůči směru válcování. U vzorku TRUBKA pak pouze ve směru podélném. Měření parametrů drsnosti profilu probíhalo vždy 10krát na každém vzorku v každém měřeném směru.

Vlastní popis sledovaných parametrů drsnosti je obsažen v teoretické části viz str.10.

Tab. 13 - Vstupní podmínky v laboratoři při stanovení drsnosti povrchu

Teplota	21°C
Vlhkost	53%

Vzorek STANDARD

Parametry měření na přístroji:

- standard měření: *ISO 1997*
- měřený profil povrchu: *R*
- filtr $\lambda_c = 0,8mm$
- filtr $\lambda_s = 2,5\mu m$
- měřená délka $l_r = 4mm$
- měřené parametry *Ra, Rz, Rq, Rp, Rv, Rsk a Rku*

Tab. 14 - Parametry drsnosti vzorku STANDARD v příčném směru

Parametry drsnosti vzorku STANDARD v příčném směru							
Číslo měření	Měřené parametry drsnosti						
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,87	5,97	1,09	2,54	3,43	-0,40	3,03
2	0,99	7,63	1,31	2,85	4,78	-0,94	4,58
3	0,93	7,59	1,24	3,80	3,79	-0,29	4,20
4	0,89	6,16	1,12	2,52	3,63	-0,52	3,23
5	0,97	7,45	1,26	3,27	4,18	-0,43	3,87
6	0,83	6,68	1,06	3,01	3,67	-0,54	3,81
7	0,91	6,73	1,14	3,13	3,60	-0,28	3,24
8	0,89	7,07	1,14	2,85	4,22	-0,59	4,27
9	0,97	7,36	1,26	3,35	4,02	-0,50	4,16
10	0,92	7,31	1,22	2,69	4,63	-0,93	4,82
Průměrná hodnota	0,92	6,99	1,18	3,00	3,99	-	3,92
Min. hodnota	0,83	5,97	1,06	2,52	3,43	-0,94	3,03
Max. hodnota	0,99	7,63	1,31	3,80	4,78	-0,28	4,82

Výsledné průměrné hodnoty $R_a = (0,917 \pm 0,047) \mu\text{m}$ a $R_z = (6,99 \pm 0,56) \mu\text{m}$

Tab. 15 - Parametry drsnosti vzorku STANDARD v podélném směru

Parametry drsnosti vzorku STANDARD v podélném směru							
Číslo měření	Měřené parametry drsnosti						
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	0,18	1,08	0,22	0,54	0,54	0,53	2,88
2	0,45	3,57	0,64	2,12	1,45	1,10	4,72
3	0,36	2,87	0,50	2,18	0,69	2,12	11,27
4	0,52	3,39	0,65	1,64	1,75	-0,38	3,37
5	0,33	2,30	0,45	1,56	0,74	0,62	5,87
6	0,57	4,52	0,88	2,95	1,57	0,90	7,74
7	0,36	2,78	0,50	1,39	1,39	0,18	5,36
8	0,29	1,65	0,36	0,85	0,80	-0,03	2,92
9	0,41	2,21	0,51	1,16	1,05	-0,20	2,60
10	0,36	2,16	0,47	1,00	1,16	0,26	3,87
Průměrná hodnota	0,38	2,65	0,52	1,54	1,11	+	5,06
Min. hodnota	0,18	1,08	0,22	0,54	0,54	-0,38	2,60
Max. hodnota	0,57	4,52	0,88	2,95	1,75	2,12	11,27

Výsledné průměrné hodnoty $R_a = (0,38 \pm 0,11) \mu\text{m}$ a $R_z = (2,65 \pm 0,95) \mu\text{m}$

Vzorek TRUBKA**Parametry měření na přístroji:**

- standard měření: *ISO 1997*
- měřený profil povrchu: *R*
- filtr $\lambda_c = 0,8mm$
- filtr $\lambda_s = 2,5\mu m$
- měřená délka $l_r = 12,5mm$
- měřené parametry *Ra, Rz, Rq, Rp, Rv, Rsk a Rku*

Tab. 16 - Parametry drsnosti vzorku TRUBKA v podélném směru

Parametry drsnosti vzorku TRUBKA v podélném směru							
Číslo měření	Měřené parametry drsnosti						
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1	1,31	8,44	1,60	3,00	5,44	-0,61	2,92
2	1,96	12,06	2,49	4,53	7,53	-0,58	3,23
3	1,64	10,12	2,00	4,59	5,53	-0,32	2,62
4	1,27	8,67	1,63	2,99	5,68	-0,92	3,84
5	1,15	7,34	1,44	2,83	4,52	-0,64	3,32
6	1,98	10,79	2,54	4,07	6,72	-0,68	2,92
7	1,92	11,31	2,41	4,77	6,54	-0,43	3,31
8	1,99	11,76	2,65	4,89	6,87	-0,36	3,70
9	1,27	9,16	1,68	2,73	6,43	-1,18	4,78
10	0,94	6,29	1,20	2,23	4,06	-0,70	3,65
Průměrná hodnota	1,54	9,59	1,96	3,66	5,93	-	3,43
Min. hodnota	0,94	6,29	1,20	2,23	4,06	-1,18	2,62
Max. hodnota	1,99	12,06	2,65	4,89	7,53	-0,32	4,78

Výsledné průměrné hodnoty $Ra = (1,54 \pm 0,38) \mu m$ a $Rz = (9,59 \pm 1,84) \mu m$

7.7 Aplikace nátěrového systému

Nátěrový systém byl aplikován na povrchy vzorků metodou pneumatického stříkání ve stolové kabině. Tlak v pneumatickém zařízení byl 1MPa. Nátěrový systém se nanášel v jedné vrstvě o velikosti mokré vrstvy 150 μm , tak aby po vytvrzení nátěrového systému tloušťka suché vrstvy dosahovala hodnot 60 až 80 μm . Nátěrový systém byl nanášen ve zředěném stavu v poměru 1:10. Ředěn byl v jednom případě vodou destilovanou a ve druhém případě vodou pitnou.

Před vlastní nanášením nátěrového systému byl aplikován předeřev u vzorků TRUBEK. Hodnota předeřevu byla 40°C. U vzorků STANDARD předeřev aplikován nebyl. Důvodem předeřevu byla simulace provozních podmínek. Tedy situace, za kterých bude nátěrový systém aplikován na dané výrobky.

Vzorek s aplikovaným nátěrovým systémem byl ihned po aplikaci ponechán 10 minut volně ložený na vzduchu, následně byl vzorek s nátěrovým systémem sušen 20 minut v horkovzdušné sušící peci při teplotě 70°C. Po vysušení nátěrového systému byl vzorek ponechán 30 minut volně ložený na vzduchu.

Tab. 17 - Vstupní podmínky v laboratoři při aplikaci nátěrového systému

Teplota	21°C
Vlhkost	53%

Měření tloušťky mokré vrstvy nátěrového systému probíhalo dle normy ČSN EN ISO 2808 za pomoci měřicího hřebenu firmy BASTRO. Každé měření nanesené mokré vrstvy nátěrového systému bylo provedeno kolmo na směr nanášení.

Vlastnosti a složení použité pitné vody:

Tab. 18 - Vlastnosti použité pitné vody [citováno 19.4. 2012] [26]

Zásobovaná oblast			Ostravsko
Místo odběru	Jednotka	Mezní hodnota	VDJ Krásné Pole
Teplota	°C		5,8
Barva	mg Pt / l	20	1,7
Zákal	ZF (n)	5	0,8
pH		6,5 - 9,5	7,75
ChSK-Mn	mg/l	3	1,92
Železo	mg/l	0,20	<0,05
Mangan	mg/l	0,050	<0,030
Hliník	mg/l	0,20	0,03
Fekální streptokoky	KTJ/100 ml	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0

7.8 Stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy dle ČSN EN ISO 2808

Stanovení tloušťky suché vrstvy nátěrového systému bylo provedeno dle příslušné normy ČSN EN ISO 2808. Pro samotné měření tloušťky suché vrstvy byla použita nedestruktivní magnetická metoda. Jde o metodu založenou na principu elektromagnetické indukce, kde je tloušťka povlaku vypočítávána ze změny magnetického toku. Jak již princip napovídá, tato metoda je vhodná pouze pro měření elektricky vodivých kovových podkladových substrátů, na nichž jsou nanесeny elektricky nevodivé nátěrové systémy.

Pomůcky pro stanovení tloušťky nátěru suché vrstvy:

Pro měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému byl použit měřicí přístroj ELCOMETER 456.

Postup stanovení čistoty povrchu:

- Ustavení vzorku na rovnou a pevnou desku pro zaručení nehybnosti a stability vzorku
- Umístění měřicího přístroje kolmo na suchý nátěrový systém
- Odečtení hodnoty z přístroje

Měření tloušťky nátěru suché vrstvy se uskutečnilo na všech vzorcích typu STANDARD a TRUBEK, tj. 9 vzorků typu STANDARD a 9 typů vzorků TRUBEK. Každý ze vzorků byl měřen 10krát na různě zvolených místech na straně nanесeného nátěrového systému.



Obr. 17 - Měřicí přístroj ELCOMETER 456

Vzorky STANDARD**Tab. 19** - Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy vzorků STANDARD

Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy – vzorky STANDARD									
Číslo měření	Číslo vzorku (jednotky tloušťek μm)								
	RUS N P1	RUS N P2	RUS N P3	RUS N P4	NANO POL	RUS D P1	RUS D P2	RUS D P3	RUS D P4
1	61,3	62,5	68,8	79,8	59,4	55,1	54,8	58,4	61,8
2	71,0	55,9	75,2	80,5	58,2	65,4	56,8	57,3	58,2
3	55,4	61,1	54,0	76,9	53,5	59,4	54,5	60,2	59,3
4	67,0	60,8	73,9	62,1	55,9	56,1	54,2	56,9	57,3
5	71,9	59,6	53,6	70,9	55,5	60,6	53,7	56,9	54,1
6	51,0	63,5	55,5	78,6	59,9	54,2	57,6	61,3	57,7
7	65,3	62,4	75,6	76,1	52,7	63,9	57,9	54,4	59,7
8	67,5	59,7	75,3	70,9	54,0	61,0	54,1	59,7	58,5
9	67,5	63,8	49,1	55,7	53,9	55,1	58,9	58,3	55,0
10	52,6	63,6	75,2	78,7	58,3	63,4	57,7	60,1	56,8
Průměrná hodnota	63,1	61,3	65,6	73,0	56,1	59,4	56,0	58,4	57,8

Vzorek TRUBKA**Tab. 20** - Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy vzorků TRUBEK

Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy – vzorky TRUBEK									
Číslo měření	Číslo vzorku (jednotky tloušťek μm)								
	RUS N P1	RUS N P2	RUS N P3	RUS N P4	RUS D P1	RUS D P2	RUS D P3	RUS D P4	RUS D P5
1	73,9	85,9	72,8	85,3	78,0	85,3	68,0	59,0	65,7
2	79,6	60,7	73,8	78,4	72,8	85,9	66,5	88,8	56,9
3	76,9	72,3	82,0	62,8	69,3	65,7	70,3	74,0	59,6
4	85,2	51,7	80,7	65,1	82,4	67,8	64,3	74,9	59,8
5	72,7	69,0	64,0	85,4	81,7	59,9	76,0	66,0	73,1
6	76,6	96,1	72,5	78,7	61,6	64,7	63,0	73,6	89,1
7	81,6	91,1	80,3	86,3	89,6	68,7	76,5	75,3	74,3
8	68,9	95,7	80,9	79,0	82,7	68,1	67,3	79,0	63,1
9	74,5	77,4	73,2	73,0	66,3	56,5	70,0	67,6	72,4
10	85,4	63,5	60,8	66,6	65,0	63,5	69,0	73,9	75,9
Průměrná hodnota	77,5	76,3	74,1	76,1	74,9	68,6	69,1	73,2	69,0

Z průměrných hodnot vypočtených v tabulkách č. 17 a 18 je zřejmý rozdíl mezi tloušťkou suché vrstvy u vzorků STANDARD a vzorků TRUBEK. Nutno podotknout, že tloušťka nanášené vrstvy nátěrového systému byla v obou případech identická, tedy 150 μm mokré vrstvy. Tento rozdíl je způsoben výskytem okují a oxidických vrstev na povrchu vzorků TRUBEK, které dosahovaly tloušťky v rozmezí od 9 do 15,5 μm.

Jelikož se na povrchu vzorků TRUBEK vyskytovaly nemagnetické oxidické vrstvy, nebyli jsme schopni stanovit magnetickou metodou pouze tloušťku suché vrstvy bez vlivu těchto vrstev. Naměřené hodnoty tloušťek suché vrstvy u vzorků TRUBEK jsou proto ovlivněny touto chybou.

7.9 Stanovení pH nátěrového systému

Stanovení hodnot pH proběhlo za pomoci potenciometrické metody měření. Jde o metodu, kdy se měří potenciál článku tvořený měřicí skleněnou a srovnávací kalomelovou elektrodou v měřeném prostředí. Kyselost měřeného roztoku je pak určena potenciálem měrné skleněné elektrody [29].

Hodnota pH neboli číslo kyselosti je vyjádřeno záporným dekadickým logaritmem aktivity vodíkových iontů [29].

Obecně platí rovnice $pH = -\log(a(H_3O^+))$ kde a značí aktivitu iontu (H_3O^+). pH pak nabývá hodnot 0 až 14. Chemický čistá voda má $pH = 7$, kyseliny 0 až 6, hydroxidy 8 až 14 [29].

Měření hodnot pH proběhlo vždy 3krát pro každý typ nátěrového systému. Typy nátěrových systémů byl následující – nátěrový systém ředěný pitnou vodou, nátěrový systém ředěný vodou se vmísenými okujemi, nátěrový systém ředěný destilovanou vodou a naposled nátěrový systém ředěný destilovanou vodou se vmísenými okujemi.

Po každém měření byla měřicí sonda (elektroda) očištěna destilovanou vodou. Následně byla sonda uložena do uchovávacího roztoku na 15 minut, z důvodu obnovy měřicí přesnosti sondy. Měření hodnot pH nátěrového systému nemá nijak zvláštní vliv na hodnocení přilnavost nátěrového systému. Jedná se pouze o informativní vstupní test.



Obr. 18 - Přístroj pro měření hodnot pH - Eutech pH5+

Tab. 21 - Naměřené hodnoty pH nátěrového systému

Druh nátěrového systému	Naměřené hodnoty pH			Průměrná hodnota pH
RUS + H ₂ O	9,44	9,43	9,45	9,44
RUS + H ₂ O + okuje	9,33	9,34	9,34	9,34
RUS + Destilovaná H ₂ O	9,41	9,4	9,4	9,40
RUS + Destilovaná H ₂ O + okuje	9,35	9,35	9,35	9,35

Naměřené hodnoty pH vykazují ve všech případech zásaditost nátěrového systému. Rozdíly v hodnotách pH u nátěrového systému ředěného pitnou vodou a vodou destilovanou nejsou nijak výrazné. Mírného rozdílu si můžeme povšimnout v případě nátěrového systému s přidavkem oxidických fází (okují). Okuje totiž obsahují kyselé oxidy FeO, které mohou mít za následek mírné zvýšení kyselosti roztoku nátěrového systému a snížením tak hodnoty pH.

Nízké hodnoty změny mohou být taktéž vyvolány složením nátěrového systému, který obsahuje určité složky, jež blokují jakékoliv změny v zásaditosti roztoku. Složky bohužel nejsou více specifikovatelné z důvodu stádia vývoje nátěrového systému.

7.10 Stanovení VOC látek

Ke stanovení obsahu těkavých organických látek (VOC) byla využita gravimetrická metoda. Metoda je založena na měření hmotnostního úbytku nátěrového systému během vytvrzování. Hmotnostní úbytek je měřen v určitých časových intervalech. Jde o jednoduchý způsob, kterým se dají určit těkavé organické látky. Měření úbytku proběhlo na analytických vahách PIONEER PA214C.



Obr. 19 - Analytické váha PIONEER PA214C

Tab. 22 - Vstupní údaje před stanovením hmotnostního úbytku typů nátěrového systému

	Typ nátěrového systému	
	Rus N (pitná voda)	Rus D (destilovaná voda)
<i>Ředící poměr [-]</i>	1:10	1:10
<i>Objem barvy ve stříkačce [ml]</i>	5 ml	3 ml
<i>Hmotnost prázdné stříkačky [g]</i>	4,15	4,17
<i>Hmotnost stříkačky s barvou [g]</i>	9,09	7,71
<i>Hmotnost misky [g]</i>	4,12	4,09
<i>Hmotnost vystříknuté stříkačky [g]</i>	4,23	4,25
<i>Hmotnost misky s barvou [g]</i>	8,96	7,55

Tab. 23 - Výsledné hodnoty hmotnostního úbytku obou typů nátěrových systémů

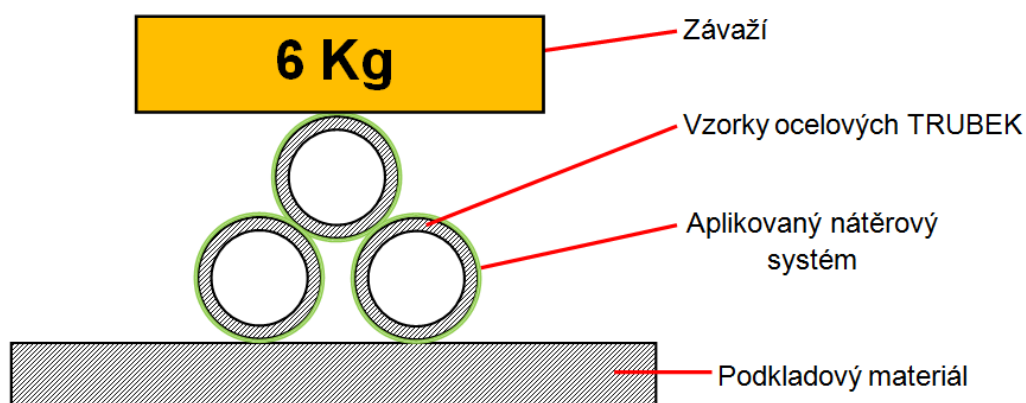
Rus D (destilovaná voda)		Rus N (pitná voda)	
Čas [min]	Hmotnost [g]	Čas [min]	Hmotnost [g]
0	7,5494	0	8,9580
15	7,4812	15	8,8923
30	7,4270	30	8,8324
45	7,3786	45	8,7789
60	7,3249	60	8,7215
75	7,2730	75	8,6606
90	7,2183	90	8,5986
105	7,1625	105	8,5360
120	7,1079	120	8,4778
135	7,0572	135	8,4196
150	7,0051	150	8,3633
165	6,9508	165	8,3010
180	6,8994	180	8,2447
195	6,8457	195	8,1844
210	6,8036	210	8,1361
225	6,7583	225	8,0764
240	6,7093	240	8,0173
255	6,6611	255	7,9640
270	6,6087	270	7,9029
285	6,5649	285	7,8546
300	6,5174	300	7,7995
315	6,4694	315	7,7464
330	6,4259	330	7,6987
345	6,3811	345	7,6451
360	6,3341	360	7,5896
375	6,2937	375	7,5415
390	6,2512	390	7,4956
405	6,2101	405	7,4623
420	6,1686	420	7,4168
435	6,1272	435	7,3689
450	6,0856	450	7,3423
465	6,0433	465	7,2956
480	6,0011	480	7,2589
1440	5,6701	1440	6,3717
2880	5,6041	2880	6,2496
4320	5,5841	4320	6,2200
5760	5,5602	5760	6,1624
7200	5,5523	7200	6,1591
8640	5,5396	8640	6,1543
10080	5,5330	10080	6,1442

7.11 Stanovení lepivosti nátěrového systému

Zkouškou lepivosti je myšlena kontrola nátěrového systému na ocelovém substrátu (trubkách), resp. ověření jeho vlastností především jeho otěruvzdornosti.

Postup stanovení čistoty povrchu:

- Po aplikaci nátěrového systému a jeho vytvrzení na povrchu trubky byly vzorky TRUBEK ustaveny na rovný podkladový materiál
- Vzorky byly zatíženy závažím o hmotnosti 6kg.
- Závaží bylo ponecháno samovolnému působení na vzorky po dobu 1 hodiny.
- Po uplynutí doby 1 hodiny byly vzorky oddělány a následně vyhodnocena lepivost a vliv na otěruvzdornost



Obr. 20 Schéma provedené zkoušky lepivosti



Obr. 21 – Vzorek T-RUS N P 1 po zkoušce lepivosti



Obr. 22 – Vzorek T-RUS N P 2 po zkoušce lepivosti



Obr. 23 – Vzorek T-RUS N P 3 po zkoušce lepivosti

Zkouška lepivosti byla provedena u všech vzorků typu TRUBEK. Hodnoceny byly stopy otlaků a známky narušení nátěrového systému na povrchu vzorků TRUBEK. Ve většině zkoušených vzorků se nevyskytly žádné stopy otlaků či jiných vad na nátěrovém systému. Pouze u několika vzorků se vyskytly menší otlaky. Tyto otlaky ovšem nebyly důkazem špatných vlastností ve zkoušce lepivosti, mohly vzniknout z důvodu výskytu vyšší tloušťky nátěrového systému v daném místě styku. Zkouškou lepivosti tak úspěšně prošly všechny zkoušené vzorky. I z tohoto hlediska lze říci, že zkoušené vzorky s aplikovaným nátěrovým systémem mají dobrou otěruvzdornost.

7.12 Zkouška přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 16276-2

Jednou z metod jak stanovit přilnavost nátěrového systému na povrchu vzorků je využití destruktivní metody mřížkové zkoušky. Celá zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 16276-2. Metoda mřížkové zkoušky je použitelná pro hodnocení odolnosti nátěrového systému k oddělení od základního podkladového substrátu, kde nátěrový systém je proříznut pravoúhlou mřížkou až k základnímu substrátu. Vlastní hodnocení zkoušky proběhlo dle normy ČSN EN ISO 2409.



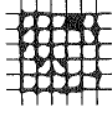
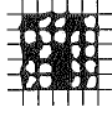
Pomůcky pro mřížkovou zkoušku:

- Řezný nástroj (ostrý nůž)
- Vodící šablona
- Adhezní páska šíře 50mm
- Měkký štětec
- Lupa

Postup vykonání mřížkové zkoušky:

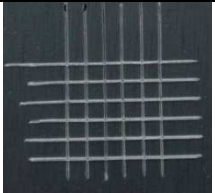
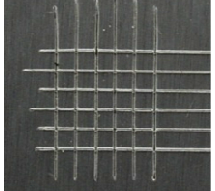
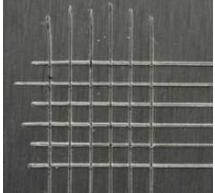
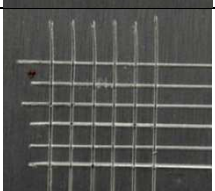
Mřížková zkouška byla provedena na dvou vzorcích typu STANDARD, přesněji u vzorků označených S-RUS D P a S-RUS N P. Každý ze vzorků obsahoval 4 mřížky. Na vzorcích typu TRUBKY mřížková zkouška provedena nebyla z důvodu neschopnosti provést mřížkovou zkoušku na tak malém průměru použitých vzorků trubek, tj. TR Ø26,9 x 2 – 90 mm.

Na očištěný povrch nátěrového systému bylo za pomoci řezného nástroje vytvořeno 6 příčných a 6 podélných řezů. Podmínkou zkoušky je proříznutí řezů až na základní substrát. Rozestup jednotlivých řezů se volí dle normy ČSN EN ISO 2409. V našem případě pro nanášený nátěrový systém o tloušťce suché vrstvy v rozmezí 61 až 120 μm se volí rozestup 2mm. Na vzniklé řezy byla přilepena adhezní páska o délce 75mm a lehce přitlačena konečky prstů. Následně byla adhezní páska sejmuta z povrchu nátěrového systému pod úhlem 60°. Bezprostředně po sejmutí adhezní pásky bylo provedeno vizuální hodnocení daných mřížek dle klasifikačních stupňů (obr. 24).

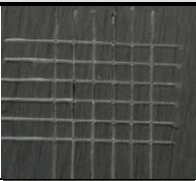


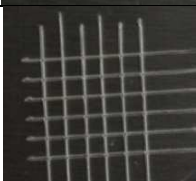
Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	—
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	—

Obr. 24 - Klasifikační stupně dle normy ČSN EN ISO 2409 [19]

Tab. 24 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS D P

Typ vzorku S-RUS D P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Mřížka č.1		0
Mřížka č.2		0
Mřížka č.3		0
Mřížka č.4		0

Tab. 25 – Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS N P

Typ vzorku S-RUS N P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Mřížka č.1		0
Mřížka č.2		0
Mřížka č.3		0
Mřížka č.4		0

7.13 Zkouška přilnavosti křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2

Zkouška křížovým řezem slouží obdobně jako mřížková zkouška ke stanovení přilnavosti nátěrového systému k povrchu základního substrátu. Celý průběh zkoušky a vlastní hodnocení probíhalo dle platné normy ČSN EN ISO 16276-2. Zkouška křížovým řezem je zkouškou destruktivní.

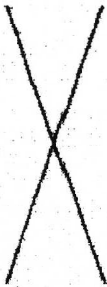




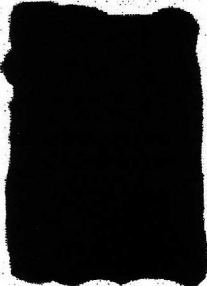
Pomůcky pro zkoušku křížovým řezem:

- Řezný nástroj s jedním ostrím
- Vodící šablona
- Adhezní páska šíře 50mm

Postup vykonání mřížkové zkoušky:

Zkouška křížovým řezem byla provedena na vzorcích typu STANDARD a TRUBKY, přesněji u vzorků označených S-RUS D P, S-RUS N P a T-RUS D P, T-RUS N P. Každý ze vzorků obsahoval 2 křížové řezy.

Na očištěném povrchu se nástrojem s jedním ostrím vede řez ve tvaru „X“ nátěrovým systémem. Řez se vede pomocí vodící šablony, přičemž délka každého řezu musí být 40mm. Úhel, vzájemně na sebe vytvořených řezů, musí být v rozmezí 30 až 45°. Poté se pevně přitiskne adhezní páska o délce 75mm na vzniklé řezy. Po uplynutí doby 5 minut se adhezní páska stáhne. Následně se vizuálně hodnotí vzniklé deformace řezů dle níže uvedených klasifikačních stupňů pro křížový řez.

 <p>Stupeň 0 Žádné odlupování nebo odpadávající nátěr.</p>	 <p>Stupeň 1 Velmi malé odlupování podél řezů nebo v jejich průsečíku.</p>
 <p>Stupeň 2 Roztřípené odlupy podél řezů, v rozsahu maximálně 1,5 mm na každé straně.</p>	 <p>Stupeň 3 Roztřípené odlupy podél téměř celé délky řezů, v rozsahu maximálně 3,0 mm na obou stranách.</p>
 <p>Stupeň 4 Odpadávající nátěr z většiny plochy křížového řezu pod lepicí páskou.</p>	 <p>Stupeň 5 Odpadávající nátěr v ploše mimo křížový řez.</p>

Obr. 25 - Klasifikační stupně křížového řezu dle normy ČSN EN ISO 16276-2 [20]

Tab. 26 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS D P

Typ vzorku S-RUS D P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Křížový řez č.1		0
Křížový řez č.2		0

Tab. 27 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS N P

Typ vzorku S-RUS N P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Křížový řez č.1		0
Křížový řez č.2		0

Tab. 28 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku TRUBKY T-RUS D P

Typ vzorku T-RUS D P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Křížový řez č.1		4
Křížový řez č.2		4

Tab. 29 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku TRUBKY T-RUS N P

Typ vzorku T-RUS N P	Znázornění	Klasifikační stupeň
Křížový řez č.1		4
Křížový řez č.2		4

7.14 Korozní zkouška v solné mlze dle ČSN ISO 9227

Sledované vzorky byly vystaveny korozní zkoušce, která byla realizována v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR. Korozní komory jsou moderním víceúčelovým systémem pro vyhodnocování korozní odolnosti. Celá korozní zkouška proběhla dle platné normy ČSN EN ISO 9227. Následné vyhodnocování pak probíhalo dle normy ČSN EN ISO 4628.

Korozní zkouška probíhala na 4 vzorcích typu STANDARD (S-RUS DP1, S-RUS NP1, S-RUS DP2, S-RUS NP2) a 4 vzorcích typu TRUBKY (T-RUS DP1, T-RUS NP1, T-RUS DP2, T-RUS NP2). Sledované vzorky byly ponechány korozní zkoušce v cyklech 0, 8, 16, 24 a 48 hodin.

Před začátkem korozní zkoušky v solné mlze jsme okraje sledovaných vzorků oblepili lepicí páskou, z důvodu zabránění primárnímu vzniku koroze, která má tendenci se v těchto místech tvořit. Na předem vybrané vzorky (S-RUS DP2, S-RUS NP2, T-RUS DP2, T-RUS NP2) byl řezným nástrojem vytvořen vertikální řez o délce 7 cm až k podkladovému substrátu.

Po vytažení z korozní komory byly vzorky opláchnuty pitnou vodou a po dobu 24 hodin sušeny při okolní teplotě $T=21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 49%. Následně byla hodnocena korozní odolnost vzorků.

Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:

- Tlak vzduchu 3 až 4 bar
- Tlak vody 2,5 až 3 bar
- Průtok vody 0,45 l/hod
- Teplota prostředí 35 ± 2 °C
- Teplota navlhčovače 55 °C
- Vlhkost 100 %
- Solná mlha - 5 % neutrální vodný roztok NaCl

**Obr. 26-** Korozní komora Liebis S400 M-TR [30]**Tab. 30** - Návrh výpočtu korozní odolnosti

Korozní odolnost	
<i>Simulovaná doba v korozní komorě</i>	<i>Realita - skutečnost</i>
720 h	cca 10 let
72 h	cca 1 rok
48 h	cca 240 dní
24 h	cca 120 dní
16 h	cca 80 dní
8 h	cca 40 dní

Korozní komora a vystavování vzorků v ní je po přepočtu srovnatelné s vystavením vzorků v korozním prostředí C5.

7.15 Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2

Stupně puchýřkování se hodnotí dle příslušné normy ČSN EN ISO 4628-2. Hodnotíme povrch vzorku, který byl vystaven působení korozních činitelů v korozní komoře. Dle normy vizuálně hodnotíme množství a velikost puchýřků v nátěrovém systému pomocí obrazových standardů. Popis výsledné klasifikace je následující: první číselné označení udává množství puchýřků na povrchu, druhé číselné označení v závorce pak udává velikost těchto puchýřků.

Sledovány byly dva vzorky typu STANDARD (S-RUS D P, S-RUS N P) a vzorky typu TRUBKY (T-RUS N P, T-RUS D P). Náhledy hodnocených vzorků jsou obsaženy v příloze A dle příslušných dob expozic.

Tab. 31 - Výsledné klasifikace puchýřkování vzorků STANDARD

Typ vzorku - STANDARD	Typ nátěrového systému	
<i>Doba expozice [hod]</i>	<i>RUS D P</i>	<i>RUS N P</i>
0	0 (S0)	0 (S0)
8	3 (S2)	0 (S0)
16	4 (S2)	0 (S0)
24	5 (S2)	3 (S2)
48	5 (S3)	5 (S2)

Tab. 32 - Výsledné klasifikace puchýřkování vzorků TRUBKY

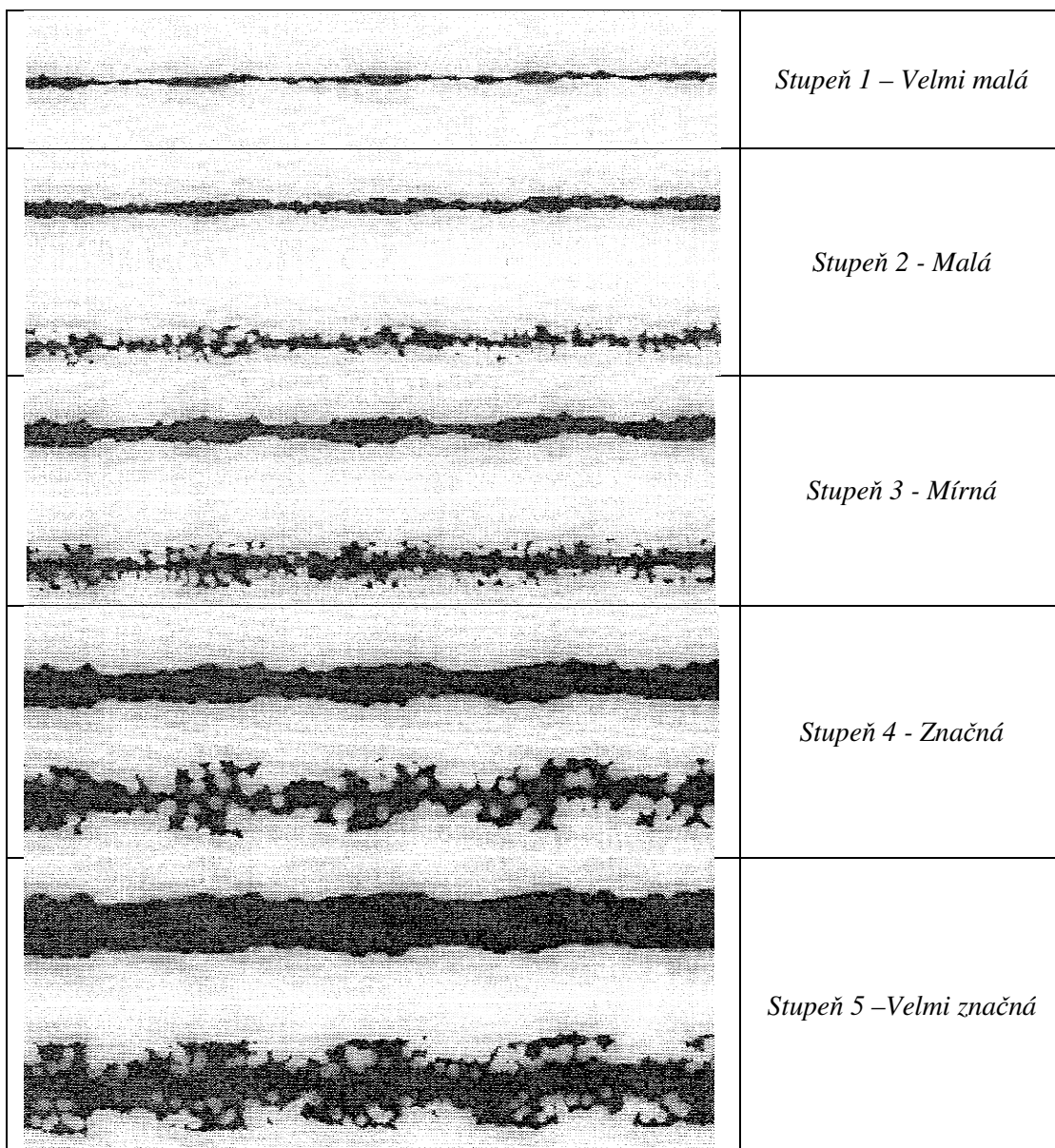
Typ vzorku - TRUBKY	Typ nátěrového systému	
<i>Doba expozice [hod]</i>	<i>RUS D P</i>	<i>RUS N P</i>
0	0 (S0)	0 (S0)
8	0 (S0)	0 (S0)
16	2 (S2)	0 (S0)
24	4 (S2)	2 (S2)
48	5 (S3)	4 (S3)

7.16 Hodnocení degradace nátěrového systému dle ČSN EN ISO 4628-8

Hodnocení degradace nátěrového systému je popsáno normou ČSN EN ISO 4628-8. Norma definuje metodu hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu na sledovaných vzorcích, které byly vystaveny působení korozních činitelů v korozní komoře. U stupně koroze hodnotíme plochu viditelných korozních produktů, u delaminace pak velikost narušení přilnavosti povlaku.

Stupně delaminace a koroze hodnotíme vizuálně dle obrazových standardů, a to ihned po ukončení expozice vzorků v korozní komoře. Vzorky byly po expozici okamžitě opláchnuty čistou vodovodní vodou a vyhodnoceny.

Sledovány byly dva vzorky typu STANDARD (S-RUS D P, S-RUS N P) a dva vzorky typu TRUBKA (T-RUS N P, T-RUS D P). Výsledné klasifikace jsou značeny ve formě *číslo/číslo*, kde první číslo popisuje klasifikační stupeň koroze a druhé klasifikační stupeň delaminace. Náhledy sledovaných vzorků jsou obsaženy v příloze B dle příslušných dob expozic.



Obr. 27 - Obrazové standardy pro hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8 [23]

Tab. 33 - Výsledné klasifikace degradace vzorků STANDARD

Typ vzorku - STANDARD	Typ nátěrového systému	
	RUS D P	RUS N P
Doba expozice [hod]		
0	0/0	0/0
8	1/0	0/0
16	2/1	1/0
24	3/2	2/1
48	4/2	3/2

Tab. 34 - Výsledné klasifikace degradace vzorků TRUBEK

Typ vzorku - TRUBKY	Typ nátěrového systému	
	<i>RUS D P</i>	<i>RUS N P</i>
0	0/0	0/0
8	1/0	0/0
16	3/1	1/1
24	3/1	2/1
48	4/2	4/2

7.17 Nanoindentace vrchní části nátěrové hmoty dle ČSN EN ISO 14577

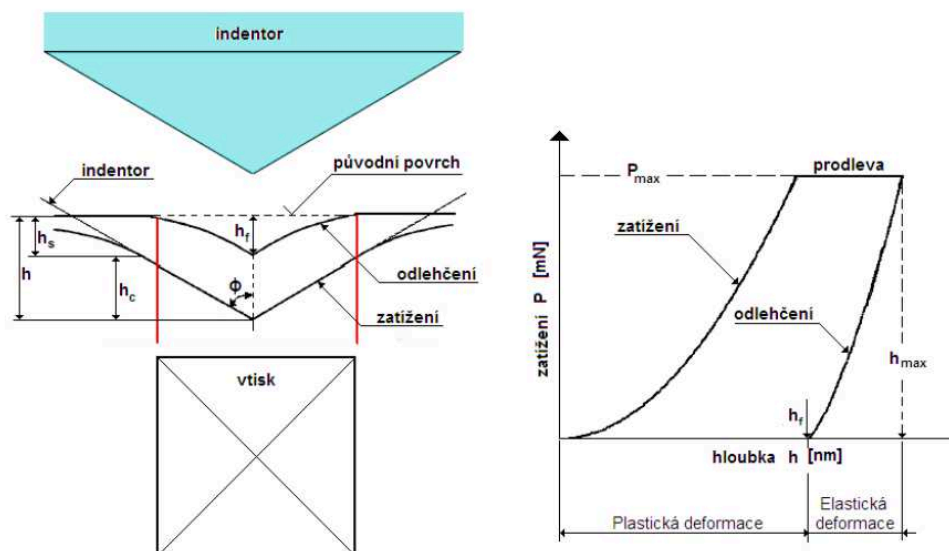
Nanoindentační zkouška je přímá metoda, jenž slouží k zjištění mikromechanických vlastností sledovaného substrátu. Princip spočívá ve vnikání zkušebního tělesa (indentoru) do zkoušeného substrátu v rozmezí nanometrů až mikrometrů. Tvar zkušebního tělesa může být sférický, pyramidální, ve tvaru jehlanu, kulového tvaru a dalších. Nanoindentace se ve větší míře využívá pro stanovení tvrdosti tenkých vrstev povlaků.

Nanoindentační zkouška probíhala při dynamickém působení indentrou na přístroji Triboindenter Ti 950. Tvar použitého indentoru byl kulový. Zkouška byla prováděna pouze na vzorcích typu STANDARD a celkově bylo uskutečněno 15 měření na vzorku S-RUS N P a 15 měření na vzorku S-RUS D P. Na vzorcích typu TRUBKY zkouška prováděna nebyla. Důvodem je kruhovitost povrchu trubky, kde není možné snímat tvrdost povrchu, jelikož by se zde mohlo zkoušecí těleso poškodit.

**Obr. 28** - Nanoindentační přístroj Triboindenter Ti 950 [31]

Tab. 35 - Základní parametry indentačního přístroje Triboindenter Ti 950

Parametry	Osa Z (indexační osa)	Osa X (Scratch osa)
Maximální síla	10 mN	2 mN
Rozlišení – síla	1 nN	2 μ N
Maximální posun	5 μ m	15 μ m
Rozlišení posun	0,04 nm	4 nm

**Obr. 29** - Schéma měření pomocí nanoindentace [13]**Tab. 36** - Naměřené hodnoty tvrdostí nanoindentační zkouškou

Typ náterového systému	RUS D P		RUS N P	
	Hloubka vtisku h_c [nm]	Tvrdost H [GPa]	Hloubka vtiku h_c [nm]	Tvrdost H [GPa]
1	138,56	0,032	138,70	0,031
2	139,22	0,032	139,52	0,033
3	145,35	0,028	141,59	0,031
4	146,29	0,026	143,99	0,029
5	146,50	0,028	145,25	0,027
6	148,50	0,025	147,62	0,027
7	149,02	0,023	147,84	0,022
8	149,83	0,023	149,18	0,020
9	152,35	0,022	149,82	0,021
10	152,85	0,021	150,70	0,023
11	155,85	0,020	152,30	0,022
12	156,72	0,019	153,23	0,020
13	158,37	0,019	153,96	0,019
14	161,68	0,019	159,70	0,018
15	162,61	0,015	162,70	0,014

7.18 Fázové rozhraní na elektronovém mikroskopu

Vybrané vzorky byly pomocí přístroje Discotom – 50 (výrobce společnost Struers) nařezány na rozměr 10x15mm. Takto nařezané vzorky byly za studena vakuově zality směsí epoxidové pryskyřice EpoFix Resin a tvrdidla EpoFix Hardener v poměru 25:3 a to přístrojem CitoVac. Po vytvrzení pryskyřice byly vzorky broušeny pomocí přístroje TegraSystem na brusných papírech o zrnitosti 180, 300, 800, 1200 a 2400 μ m a následně pro dokonalý lesk korundovou brusnou pastou.

Výsledné mikrosnímky byly pořízeny na elektronovém mikroskopu v centru nanotechnologií na VŠB – TU Ostrava a jsou součástí vyhodnocení.

8 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

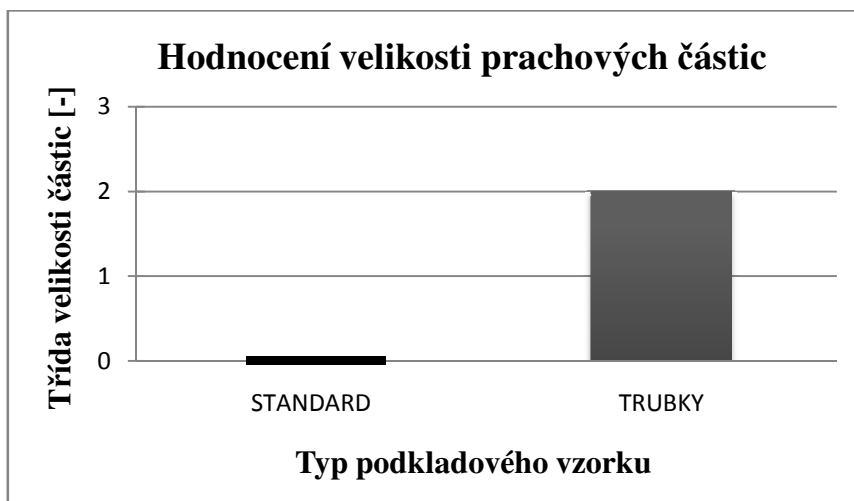
Tato část experimentálních prací je zaměřena na zpracování výsledků získaných z jednotlivých měření, studií či podobně. Výsledky jsou zpracovány do grafického znázornění a odborně popsány. Konečným výsledkem je pak závěrečné zhodnocení celého řešeného problému.

8.1 Výsledky stanovení čistoty povrchu

Na níže uvedených grafech č. 1 a č. 2 je možné vidět výsledné hodnocení čistoty povrchu, resp. prašnost povrchu před aplikací nátěrového systému. Největší čistotu povrchu vykazovaly vzorky typu STANDARD. Množství prachových částic u nich bylo hodnoceno stupněm 1 a velikost prachových částic stupněm 0. Jednalo se o částice neviditelné při zvětšení 10x. Výsledky potvrzují skutečnost, že vzorky typu STANDARD byly dodány očištěné s povrchovou úpravou broušením a odmaštěny. Naopak u vzorků typu TRUBKY se očekávalo velké znečištění povrchu. Množství prachových částic v tomto případě bylo hodnoceno stupněm 5, tedy nejhorším a velikost prachových částic stupněm 2. Šlo tedy o částice viditelné prostým okem obvykle o velikosti 50 μ m až 100 μ m. Důvodem proč vzorky TRUBEK vykazovaly tak velké znečištění byla skutečnost, že vzorky nebyly žádným způsobem očištěny nebo odmaštěny. Lepší čistotu povrchu tedy vykazovaly vzorky STANDARD.



Graf. 1 - Hodnocení množství prachových částic na povrchu vzorků

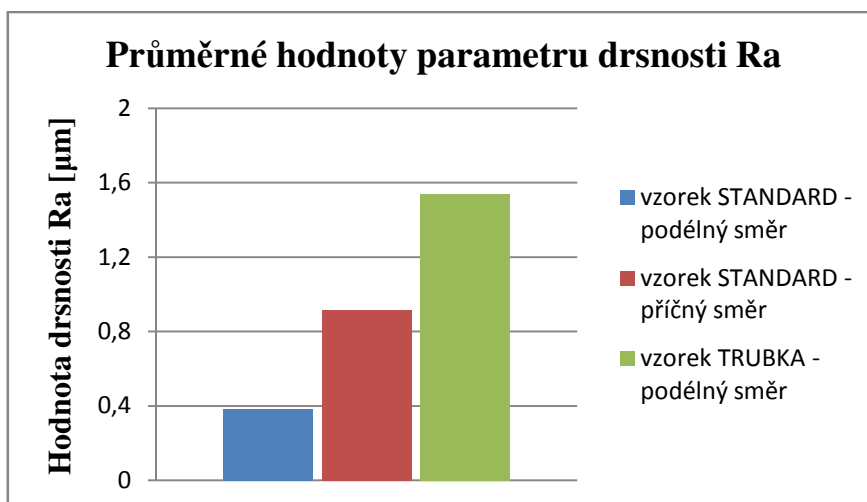


Graf. 2 - Hodnocení velikosti prachových částic na povrchu vzorků

8.2 Výsledky stanovení drsnosti povrchu

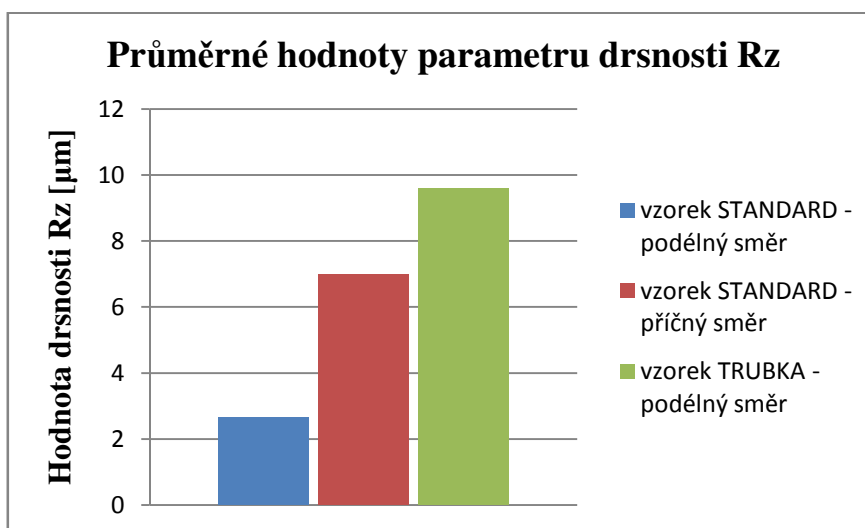
Ze všech naměřených a zprůměrovaných hodnot jednotlivých parametrů drsnosti nám nejvíce informací přináší parametr R_a , R_z a R_{sk} . Parametr R_a (aritmetická odchylka drsnosti) je nejběžněji využívaný parametr pro popis drsnosti povrchu. Ovšem pro nás má větší význam parametr R_z (největší výška profilu), jenž přesněji charakterizuje velikost kotvícího profilu pro aplikaci nátěrového systému. Dalším důležitým parametrem je šikmost profilu R_{sk} . Šikmost profilu R_{sk} nám s pozitivní hodnotou vypovídá o špatných vlastnostech nosnosti profilu, naopak záporná hodnota R_{sk} vypovídá o vhodných vlastnostech nosnosti profilu.

Ve výsledcích stanovené drsnosti profilu jsou obsaženy grafy s naměřenými hodnotami R_a . Dále jsou pro lepší přehlednost a porovnání zpracovány do grafů naměřené a zprůměrované hodnoty parametrů drsnosti R_a a R_z .



Graf. 3 – Průměrné hodnoty parametru drsnosti R_a

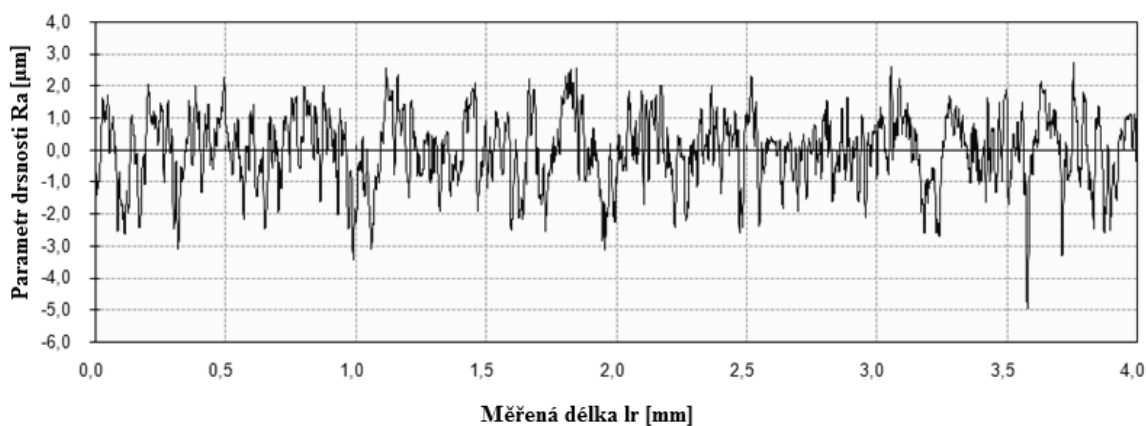
Na předešlém grafu č. 3 jsou znázorněny průměrné hodnoty drsnosti R_a zjištěných z měřených reprezentativních vzorků. Hodnota drsnosti profilu u vzorku STANDARD v příčném směru dosahovala $R_a = (0,917 \pm 0,047) \mu\text{m}$. V podélném směru u téhož vzorku dosahovala hodnota $R_a = (0,38 \pm 0,11) \mu\text{m}$. U vzorku TRUBKY byla hodnota drsnosti profilu $R_a = (1,54 \pm 0,38) \mu\text{m}$. Nejvyšší hodnotu drsnosti R_a tedy vykazoval vzorek TRUBKY.



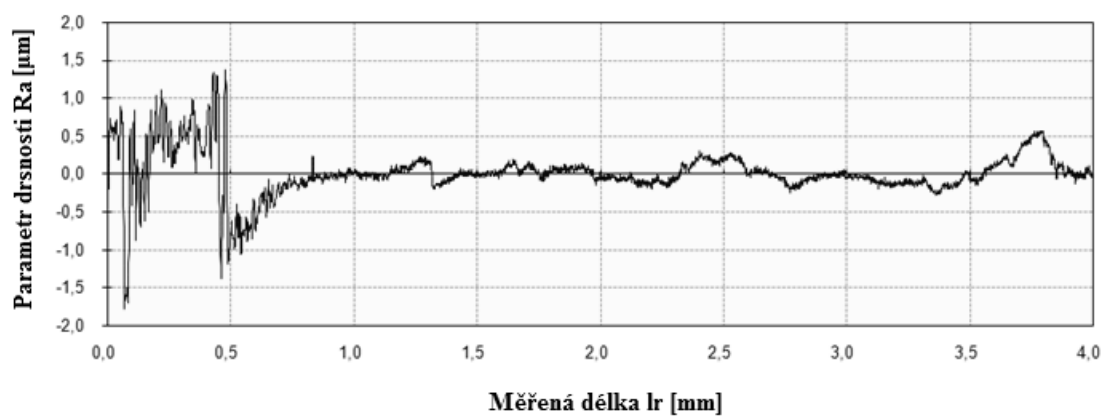
Graf. 4 - Průměrné hodnoty parametru drsnosti R_z

Graf č. 4 znázorňuje průměrné hodnoty drsnosti R_z , které byly zjištěny na stejných vzorcích jako hodnoty drsnosti R_a . Je patrné, že nejnižší hodnotu vykazoval vzorek STANDARD v podélném směru $R_z = (2,65 \pm 0,95) \mu\text{m}$. V příčném směru tato hodnota bylo vyšší $R_z = (6,99 \pm 0,56) \mu\text{m}$. Největší hodnotu profilu drsnosti R_z vykazuje opět vzorek TRUBKY $R_z = (9,59 \pm 1,84) \mu\text{m}$.

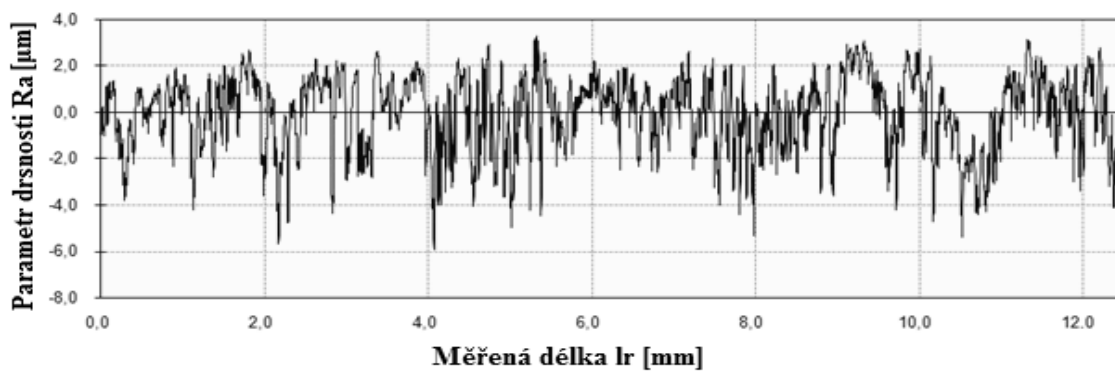
Posledním sledovaným parametrem byla šikmost R_{sk} . U vzorku typu STANDARD se v podélném směru projevila pozitivní hodnota, což vypovídá o tom, že daný profil má špatné vlastnosti z hlediska nosnosti profilu. Ovšem ve směru příčném byla zjištěna hodnota záporná, což v daném směru vypovídá o vhodných vlastnostech nosnosti profilu. U vzorku typu TRUBKY se šikmost R_{sk} projevila v podélném směru zápornou hodnotou a daný profil má tak vhodné vlastnosti nosnosti profilu.



Obr. 30 - Profil drsnosti R_a vzorku STANDARD v příčném směru
(měření číslo 1 – $R_a=0,87\mu\text{m}$)



Obr. 31 - Profil drsnosti R_a vzorku STANDARD v podélném směru
(měření číslo 1 – $R_a=0,18\mu\text{m}$)

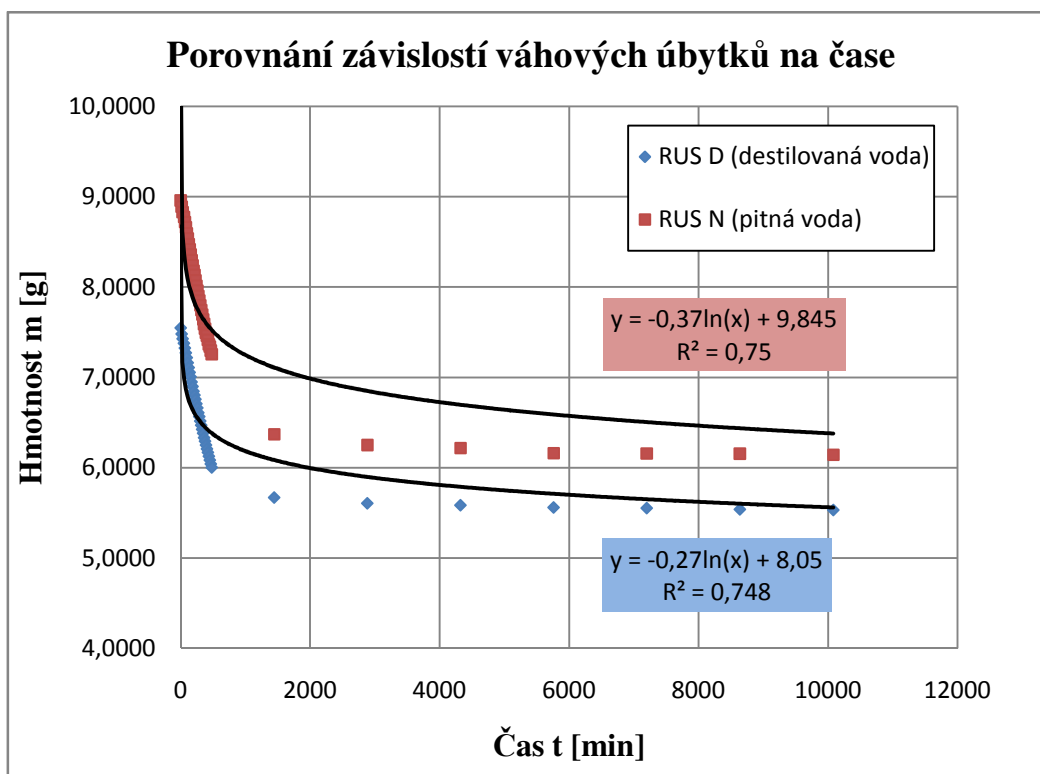


Obr. 32 - Profil drsnosti R_a vzorku TRUBKA v podélném směru
(měření číslo 1 – $R_a=1,3 \mu\text{m}$)

Při porovnání jednotlivých parametrů drsností a dalších aspektů je zřejmé, že oba sledované povrchy podkladových substrátů mají dobré předpoklady k přilnavosti aplikovaného nátěrového systému z hlediska kotvícího profilu. Dovoluji si však tvrdit, že vzorky typu TRUBKY se svým reliéfem povrchu v podélném směru mají mírně vhodnější kotvící profil pro aplikaci nátěrového systému. Hodnoty parametru drsnosti R_z se zdají být vhodnějšími kvůli jejich vyšší hodnotě. Na druhou stranu příliš vysoké hodnoty drsnosti R_z nejsou vždy výhodou, především z hlediska korozní odolnosti povrchu a vyšší spotřebě nátěrového systému.

8.3 Výsledky stanovení VOC látek

Z tabulky č. 21 byl sestaven graf závislosti váhových úbytků na čase pro oba sledované nátěrové systémy RUS D a RUS N. Jednotlivé naměřené hodnoty váhových úbytků byly vneseny do grafu a samostatně proloženy logaritmickými regresivními křivkami. Ačkoliv je křivka váhových úbytků u nátěrového systému RUS N postavena výše, je zřejmé, že váhový úbytek je u obou typů sledovaných nátěrových systémů obdobný. Postavení křivky váhových úbytků u nátěrového systému RUS N je způsobeno nepřesností vnášených vstupních hmotností. U nátěrového systému RUS N byla vstupní hmotnost 8,96g a u nátěrového systému RUS D 7,55g.

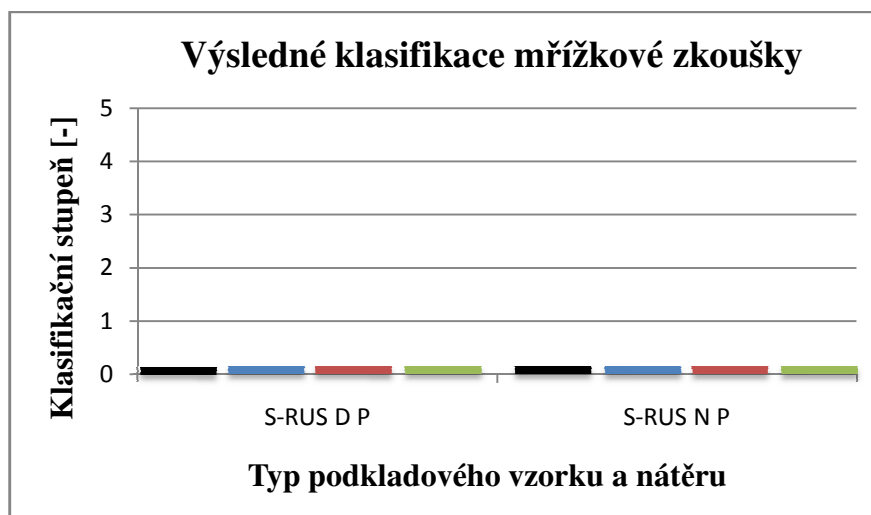


Graf. 5 - Porovnání závislostí váhových úbytků na čase

8.4 Hodnocení přilnavosti nátěrového systému

Přilnavost byla hodnocena dle dvou uskutečněných zkoušek a to zkouškou mřížkovou a zkouškou křížovým řezem. Mřížková zkouška byla uskutečněna pouze na vzorcích typu standard pro nátěrový systém RUS D P a RUS N P.

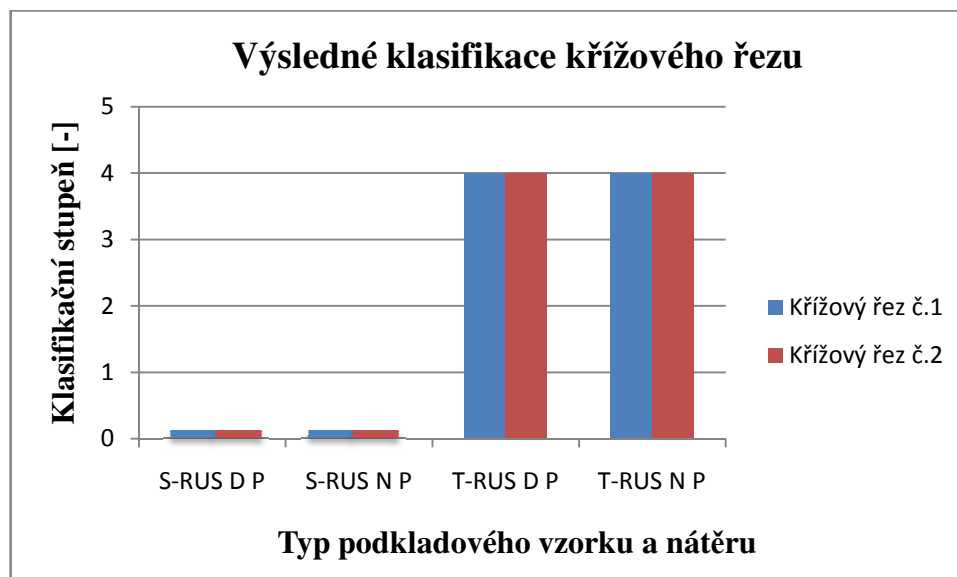
Pro snazší hodnocení byl z výsledných klasifikačních stupňů vytvořen graf č. 6. Kde jednotlivé barvy znázorňují počet mřížek, čili čtyři mřížky na každém ze vzorků.



Graf. 6 - Výsledné klasifikace mřížkové zkoušky

Hodnocení všech čtyř mřížek na obou vzorcích byly shodně klasifikovány stupněm 0, tedy nebyla poškozena mřížka a hrany řezů byly zcela hladké. Přilnavost nátěrového systému RUS N P a RUS D P k podkladovému substrátu STANDARD byla v obou případech výborná a stejných výsledků.

Pro objektivnější posouzení přilnavosti na různých typech podkladových substrátů nám posloužila zkouška křížovým řezem. Z důvodu toho, že byla vykonána na obou typech vzorků (STANDARD, TRUBKY) s oběma nátěrovými systémy (RUS N P, RUS D P).



Graf. 7 - Výsledné klasifikace křížového řezu

Na vzorcích typu STANDARD u obou nátěrových systémů nebyly po vykonání zkoušky zjištěny žádné vady křížových řezů a byly vyhodnoceny klasifikačním stupněm 0. U vzorků typu TRUBKY byly po zkoušce znatelně vidět odlupující se části nátěrových systémů z většiny plochy křížového řezu. Tyto vzorky byly ve všech případech vyhodnoceny klasifikačním stupněm 4.

Ačkoli měli vzorky typu STANDARD a TRUBEK v obou případech dobrý kotvící profil pro nátěrový systém, lepší přilnavost nátěrového systému vykazovaly vzorky STANDARD. Důvodem tohoto jevu může být fakt, že nátěrový systém byl u vzorků TRUBEK aplikován na neočištěný povrch. Ten, jak již bylo výše uvedeno, obsahoval celou řadu nečistot, především pak prachových částic, které mohli zhoršit přilnavost nátěrových systémů k povrchu podkladového substrátu.

Dle výsledků z obou zkoušek, ať už zkoušky mřížkové nebo křížovým řezem, je zřejmé, že za daných situací a podmínek vykazují lepší přilnavost nátěrové systémy aplikované na vzorky STANDARD. Nátěrové systémy typu RUS N P a RUS D P nemají žádné rozdílnosti v přilnavosti k podkladovému substrátu.

8.5 Hodnocení korozní odolnosti

Korozní odolnost sledovaných vzorků s patřičnými nátěrovými systémy hodnotíme z hlediska stupně puchýřkování a degradace nátěrových systémů.

8.5.1 Hodnocení stupně puchýřkování

U vzorku typu STANDARD s nátěrovým systémem RUS D P se puchýřkování projevilo již po 8 hodinách působení v korozní komoře. Na celém povrchu vzorku se objevili drobné puchýřky s hodnocením 3 (S2). Po 16 hodinách působení v korozní komoře se množství puchýřků zvětšilo, jejich velikost však zůstala stejná. S postupující dobou působení v korozní komoře se množství puchýřků a jejich velikost neustále zvyšovala. V konečné fázi působení v korozní komoře hodnocení dosahovalo hodnot 5 (S3).

Vzorek typu STANDARD s nátěrovým systémem RUS N P vykazoval lepšího hodnocení. Výskyt puchýřků se u tohoto vzorku projevilo až po 24 hodinovém působení v korozní komoře. Po 24 hodinách se objevili puchýřky s hodnocením 3 (S2). Následné působení po 48 hodinách už jen prohloubilo puchýřkování, kde se zvedlo množství puchýřků na povrchu o stejné velikosti.

Na vzorku typu TRUBKA s aplikovaným nátěrovým systémem RUS D P se projevil vliv puchýřkování až po 16 hodinách působení v korozní komoře. Velikost a množství puchýřků bylo hodnoceno stupněm 2 (S2). Po prodloužení doby působení se opět množství puchýřků postupně zvyšovalo a velikost puchýřků zůstávala téměř stejná. Po 24 hodinách hodnocení vzorku dosahovalo stupně 4 (S2). Po 48 hodinách pak 5 (S3).

Poslední typ vzorku TRUBKY s aplikovaným nátěrovým systémem RUS N P odolával vzniku puchýřků až do doby 24 hodin působení v korozní komoře. V této době se na povrchu vytvořili puchýřky s hodnocením 2 (S2). Po další době expozice v korozní komoře tedy po 48 hodinách se množství a velikost puchýřků zvětšila na stupeň 4 (S3).

Vzorky typu TRUBKY s aplikovanými nátěrovými systémy vykazovaly lepšího hodnocení puchýřkování oproti vzorkům typu STANDARD. Vzorky typu STANDARD byly více náchylné na vznik puchýřků. Hodnocení z pohledu odolnějšího typu nátěrových systémů vůči vlivu puchýřkování se jeví nátěrový systém RUS N P jako vhodnější

8.5.2 Hodnocení degradace nátěrového systému

Hodnocením degradace nátěrového systému je myšleno hodnocení stupně koroze a stupně delaminace v okolí řezu.

Hodnocení degradace nátěrových systémů mezi vzorky typu STANDARD a TRUBKY nebyl prakticky větší rozdíl. Stupně koroze a delaminace v obou případech dosahovaly stejných hodnot.

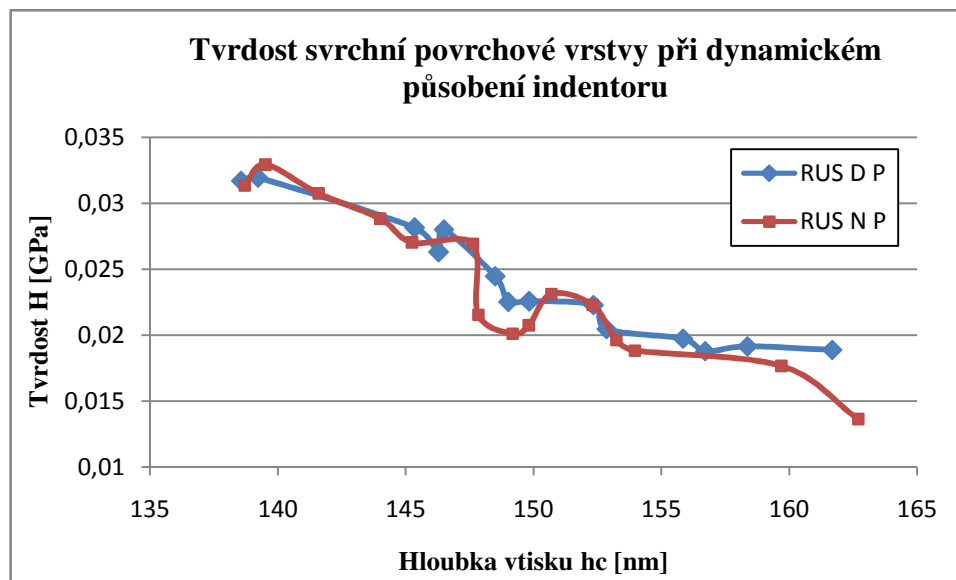
Rozdíly ovšem nastaly mezi sledovanými nátěrovými systémy RUS D P a RUS N P. U nátěrového systému RUS D P se koroze na vzorcích STANDARD i TRUBKÁCH projevila už po 8 hodinách působení v korozní komoře. Stupně koroze a delaminace se při zvyšující se době expozice v korozní komoře neustále zvyšovaly. Po 4 hodinách tak dosahoval stupeň koroze hodnoty 4 a delaminace hodnoty 2. Výsledky nátěrového systému RUS N P byly prokazatelně lepší. Koroze a delaminace se u tohoto nátěrového systému projevila až po 16 hodinách působení v korozní komoře. Následně už se hodnoty stupňů koroze a delaminace opět zvyšovaly až do hodnot koroze 3 a delaminace 2 u vzorku STANDARD a hodnot koroze 4 a delaminace 2 u vzorku TRUBKY.

Vzorky typu STANDARD vykazovaly ve výsledku zhoršené korozní vlastnosti proti vzorkům typu TRUBKY. Tento jev mohl být dán použitím předehřevu. Předehřev byl aplikován pouze u vzorků TRUBEK a vzorků STANDARD nikoliv. Předehřev má do jisté míry vliv na obsah vody na povrchu vzorků, která korozní odolnost vzorků snižuje. Na povrchu tak mohla vzniknout blesková koroze, kterou korozní komora mohla dále podpořit. S aplikovaným předehřevem obsah vody na povrchu vzorků klesá a snižuje tak náchylnost na vznik bleskové koroze.

Z hlediska korozní odolnosti jsou oba nátěrové systémy vhodné pro praktické využití a mají korozní odolnost na stejné úrovni. Sledované nátěrové systémy by měly z pohledu antikorozních vlastností zajišťovat ochranu po dobu 3 až 6 měsíců.

8.6 Výsledky nanoindentace

Nanoindentační zkouškou při dynamickém zatížení byla zkoumána tvrdost vrchní části povrchových vrstev nátěrových systémů. Naměřené hodnoty tvrdostí a hloubek vtisků byly zpracovány do následujícího grafu.



Graf. 8 - Tvrdost svrchní povrchové vrstvy

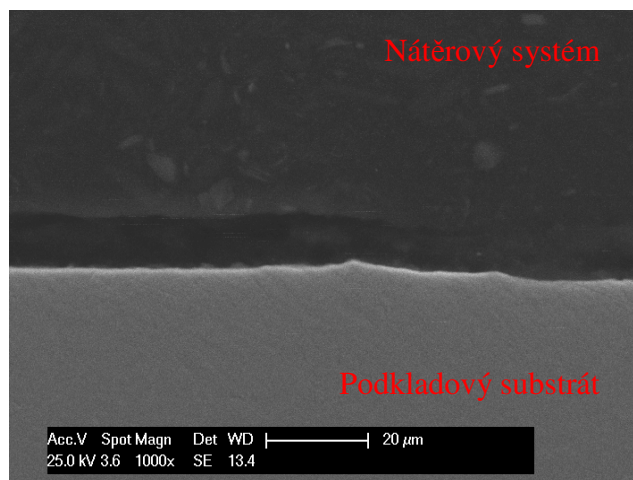
Z grafu lze částečně vyčíst, že se zvětšující se hloubkou vtisku, se u obou sledovaných vzorků RUS D P a RUS N P zákonitě snižuje hodnota tvrdosti. Hodnoty tvrdosti povrchu jsou v závislosti na hloubce vtisku v obou případech téměř totožné i přes určité výkyvy v těchto křivkách. Tyto výkyvy jsou způsobeny nehomogenností materiálu, v našem případě nátěrového systému. Na heterogenním materiálu mohlo dojít při nanoindentační zkoušce k měření tvrdosti například na pojivové složce, která je měkčí než jiné fáze, a tím vzniknout chyba, projevující se v grafu důlky.

Není tedy možné stanovit jednoznačný závěr, který z těchto nátěrových systémů má vyšší hodnoty tvrdosti. Z obecného hlediska můžeme tedy konstatovat, že oba nátěrové systémy jsou z hlediska tvrdosti srovnatelné.

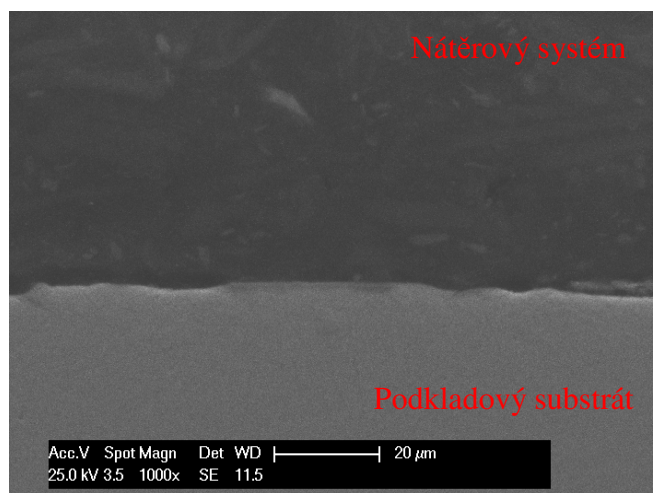
Mimo jiné na tvrdost má do jisté míry vliv i použitá technologie nanášení nátěrového systému. Tvrdost u technologie postřiku je například nižší než u nanášení nátěrového systému technologií štětcem nebo pravítkem [14].

8.7 Výsledky fázového rozhraní na elektronovém mikroskopu

Mikrosnímky fázového rozhraní byly pořízeny na elektronovém mikroskopu v centru nanotechnologií na VŠB – TU Ostrava.



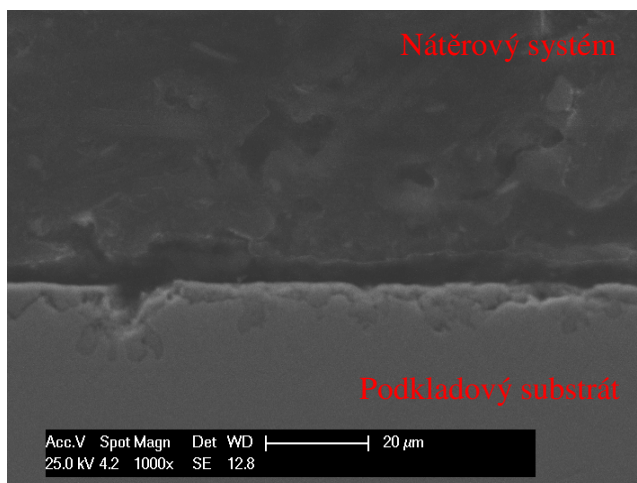
Obr. 33 - Fázové rozhraní vzorku STANDARD s nátěrovým systémem ředěným destilovanou vodou



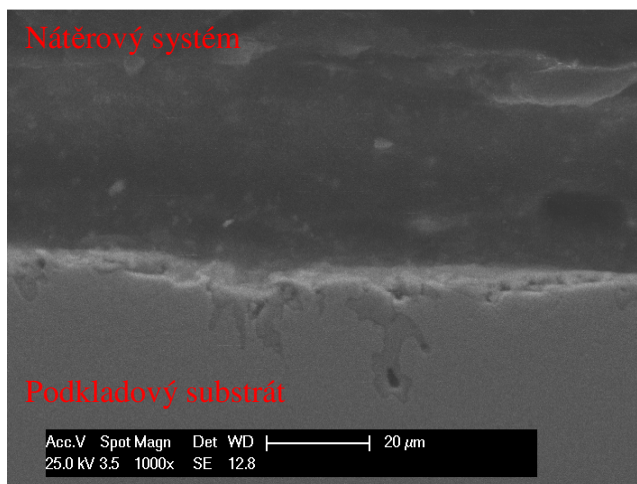
Obr. 34 - Fázové rozhraní vzorku STANDARD s nátěrovým systémem ředěným pitnou vodou

Na snímcích č. 33 a č. 34 vzorku STANDARD lze snadno rozpoznat fázové rozhraní mezi nátěrovými systémy a podkladovými substráty. Vzorky STANDARD vykazují rovnoměrné fázové rozhraní.

Na obou snímcích nelze vidět žádných vad mezi podkladovým substrátem a nátěrovým systémem. Z hlediska přilnavosti lze konstatovat, že oba typy nátěrových systémů dokonale přilnuly k povrchu podkladových substrátů. Jsou tak vytvářeny celistvé a rovnoměrné vrstvy nátěrových systémů na podkladových substrátech.



Obr. 35 - Fázové rozhraní vzorku TRUBKA s nátěrovým systémem ředěným destilovanou vodou



Obr. 36 - Fázové rozhraní vzorku TRUBKA s nátěrovým systémem ředěným pitnou vodou

I u snímků č. 35 a 36 lze zřetelně vidět fázové rozhraní mezi nátěrovými systémy a podkladovými substráty. Fázové rozhraní je na vzorcích TRUBEK více členité než u vzorků STANDARD. Členitost je dána nerovnoměrnou tloušťkou nátěrových systémů a především charakterem oxidů, jež se vyskytují na povrchu podkladových substrátů.

Na snímcích si můžeme všimnout, že oba typy nátěrových systémů zatékají do jednotlivých pórů a profilu podkladových substrátů. Ve fázovém rozhraní tak nevznikají žádné vady a vytváří se tak celistvé vrstvy nátěrových systémů, což je prvotní podmínkou pro dobrou přilnavost nátěrového systému k podkladovému substrátu.

9 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na studium povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků. Cílem teoretické části bylo seznámení s teoretickými poznatky, ze kterých následně vycházíme v experimentální části práce. Uvedeny jsou poznatky o charakteristice a vlastnostech povrchu, především pak popis povrchu substrátu, poznatky o povrchových napětích a smáčivosti povrchu. Další poznatky jsou z oblasti geometrického popisu povrchu, tj. mikrogeometrie povrchu, geometrické vlastnosti povrchu, parametry profilu drsnosti a zmíněny jsou i jednotlivé metody měření profilu drsnosti. Do teoretické části jsem zařadil i popis mechanismů adheze mezi substrátem a povlakem, obecné poznatky o organických nátěrových systémech v čele antikorozními inhibitory koroze na bázi fosforečnanu zinečnatého. Nechybí popis předběžných úprav povrchu.

Experimentální část se zabývá zkoušením a hodnocením nátěrového systému, který byl nařazen podle zadaného poměru (1:10) a to ve dvou variantách. První, destilovanou vodou a druhá vodou z místního vodovodu. Následně byly nátěrové systémy aplikovány na dva podkladové substráty. Mezi hlavní výsledky experimentální části se považuje hodnocení přilnavosti nátěrových systémů k povrchu podkladových ocelových substrátů. Hodnocena byla vhodnost kotvícího profilu na daných vzorcích typu STANDARD a TRUBKY. Dále byla sledována rozdílnost v korozní odolnosti obou nátěrových systémů.

Na podkladových substrátech bylo před samotným zkoušením provedeno několik zkoušek. Prvním úkolem bylo stanovení čistoty a prašnosti na povrchu daných vzorků STANDARD a TRUBKY. Vzorky typu STANDARD vykazovaly vysokou čistotu na povrchu. Na druhé straně vzorky TRUBEK vykazovaly hodnoty vysokého zaprášení, což mělo později podstatný vliv na přilnavosti nátěrových systémů. Dále byla hodnocena vhodnost a velikost kotvícího profilu. Vzorky typu STANDARD měly hodnoty sledovaných parametrů v podélném směru $R_a = (0,38 \pm 0,11) \mu\text{m}$ a $R_z = (2,65 \pm 0,95) \mu\text{m}$. V příčném směru $R_a = (0,917 \pm 0,047) \mu\text{m}$ a $R_z = (6,99 \pm 0,56) \mu\text{m}$. Vzorky TRUBEK měly hodnoty parametrů drsnosti $R_a = (1,54 \pm 0,38) \mu\text{m}$ a $R_z = (9,59 \pm 1,84) \mu\text{m}$. Ve výsledku měly námi sledované podkladové substráty v obou případech vhodné kotvící profily a měly tak ideální předpoklad pro dobrou přilnavost nátěrových systémů k těmto substrátům.

U aplikovaných nátěrových systémů byla měřena hodnota pH roztoků a stanovovaly jsme hmotnostní úbytek. Naměřené hodnoty pH vykazovaly u obou typů nátěrových systémů zásaditost roztoků. Rozdíly v hodnotách obou typů nátěrových systémů nebyly nijak výrazné. Nátěrový systém ředěný vodovodní vodou vykazoval hodnotu $\text{pH} = 9,44$ a nátěrový systém ředěný vodou destilovanou hodnotu $\text{pH} = 9,40$. Rozdílnost v hodnotách pH u nátěrových systémů vznikla pouze přidáním oxidických fází, kdy kyselé oxidické fáze podpořily snížení zásaditosti roztoku nátěrových systémů. U obou naředěných nátěrových systémů se stanovoval obsah VOC (těkavých) látek. Z výsledků je patrná podobná závislost, tj. oba nátěrové systémy obsahují snížený obsah těchto VOC látek.

Co se týče přilnavosti nátěrových systémů, lepší přilnavost vykazovaly nátěrového systémy aplikované na podkladový substrát STANDARD. Přilnavost byla zkoušena především pomocí zkoušky křížového řezu, kde u vzorků STANDARD dosahoval klasifikačních stupňů 0 a u vzorků TRUBEK klasifikačního stupně 4. I přes horší přilnavost nátěrových systémů na vzorcích TRUBEK musíme konstatovat, že daná přilnavost je dostačující. Protože následně jsme provedli zkoušku lepivosti nátěrových systémů při svazkování po vytvrzení nátěrových systémů, kde naopak nevykazoval nátěrový systém téměř žádné porušení povrchu nátěru. Docházelo pouze k mírnému otlacení v místech styku vzorků TRUBEK. Rozdílnost nátěrového systému ředěného vodovodní vodou a ředěného destilovanou vodou neměla žádný vliv na přilnavost k podkladovým substrátům. Pro zvýšení přilnavosti nátěrových systémů by bylo vhodné odstranit strusku a očistit povrch před nanesením nátěrového systému.

Z pohledu korozní odolnosti sledovaných nátěrových systémů vzorky typu STANDARD vykazovaly ve výsledku zhoršené korozní vlastnosti proti vzorkům typu TRUBKY. Předehřev byl aplikován na podkladový substrát typu TRUBKY z důvodu simulace podmínek při aplikaci na povrch materiálu vyjíždějícího z výrobní linky (teplota se pohybuje okolo 40°C). Podkladový materiál STANDARD nebyl předehříván ze srovnávacího důvodu. Předehřev má tedy do jisté míry vliv na obsah vody na povrchu vzorků, která korozní odolnost vzorků snižuje. Korozní odolnost byla u typu nátěrového systému ředěného vodovodní vodou ve všech případech lepší, než u nátěrového systému ředěného destilovanou vodou. Na základě výsledků experimentálních zkoušek, se domnívám, že korozní proces je podmíněn vlastnostmi destilované vody a podporuje

korozní napadení, tím, že z povrchu odebírá ionty, kterých byla zbavena. Z tohoto důvodu je vhodnější pro aplikaci nátěrových systémů ředit nátěrové systému vodou vodovodní (pitnou). Z hlediska korozní odolnosti jsou oba nátěrové systémy vhodné pro praktické využití a mají korozní odolnost na podobné úrovni. Sledované nátěrové systémy by měly z pohledu antikorozních vlastností zajišťovat ochranu po dobu 3 až 6 měsíců.

Dané nátěrové systémy nejsou rozdílné ani v hodnotách nanoindentační zkoušky. Hodnoty obou nátěrových systémů jsou dle nanoindentační zkoušky srovnatelné. Hodnoty naměřených tvrdostí se pohybovaly v rozmezí od 0,014 do 0,033 GPa.

Z fotodokumentace pořízené na elektronovém mikroskopu je patrné, že oba typy nátěrových systémů dokonale přilnuly k povrchu a nevytvářely žádné vady na rozhraní fází. Povlak nátěrových systémů je celistvý, rovnoměrný a dostatečně smáčí povrch.

Oba nátěrové systémy splňují požadavek vhodnosti pro aplikaci na neupravený podkladový substrát. Splňují krátkodobou antikorozní ochranu, v tomto případě 3 – 6 měsíců v prostředí s korozní agresivitou C5. Avšak zavedením předúpravy povrchu v průběhu mezi výrobou a aplikací nátěrové hmoty by se životnost výrazně prodloužila.

10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1.vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1987. 251 s.
- [3] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část I*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 112 s. ISBN 978-80-248-0671-6.
- [5] BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P. *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag. Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.
- [6] BARDAL, E. *Corrosion and Protection*. Springer – Verlag, London Limited, 2004. 315 s. ISBN 1-85233-758-3.
- [7] BUMBÁLEK, Bohumil. ODVODY, Vladimír. OŠŤÁDAL, Bohuslav. *Drsnost povrchu*. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. 338 s. il.
- [8] FIALA, J. KRAUS, I. *Povrchy a rozhraní*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství – České vysoké učení technické v Praze, 2009. 299 s. ISBN 978-80-01-04248-9.
- [9] POLANSKÝ, Ladislav. *Studium vlivu reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 59 s., Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc..
- [10] DOBROVODSKÁ, L. *Studium koroze povrchu kovového materiálu po čištění a před aplikací nátěru*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. 44 s., Bakalářská práce, vedoucí práce doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.
- [11] MACHAČ, J. *Hodnocení drsnosti povrchu pomocí 2D a 3D metody*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. 63 s., Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

- [12] SUCHÁNKOVÁ, K. *Studium vlivu povrchové úpravy kovového substrátu pro aplikaci povlaku obsahující nanočástice*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 85 s., Diplomová práce, vedoucí doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc..
- [13] DOBROVODSKÁ, L. *Studium vlivu drsnosti ocelového substrátu na vlastnosti povlaků plněných malými částicemi*. Ostrava, 2010. 158 s., Disertační práce na Strojní fakultě VŠB – Technické univerzity v Ostravě na katedře Mechanické technologie. Školitel doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.
- [14] ŠRUBAŘ, P. PODJUKLOVÁ, J. LANÍK, T. BÁRTEK, V. SUCHÁNKOVÁ, K. KOPAŇÁKOVÁ, S. HRABOVSKÁ, K. HANÁK, M. DVORSKÝ, R. *Nanocon 2011, Conference Proceedings – The effect of application technique on distribution of pigment nanoparticles in a paint system*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství – České vysoké učení technické v Praze, 2011. s.509. ISBN 978-80-87294-27-7.
- [15] ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [16] ČSN ISO 8502-3: *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro hodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [17] ČSN ISO 8501-1: *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [18] ČSN EN ISO 2808: *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [19] ČSN EN ISO 2409: *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

- [20] ČSN EN ISO 16276-2: *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [21] ČSN EN ISO 9227: *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [22] ČSN EN ISO 4628-2: *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [23] ČSN EN ISO 4628-8: *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 8: hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [24] ČSN EN ISO 14577-4: *Kovové materiály – Instrumentovaná vnikací zkouška stanovení drsnosti a materiálových parametrů – Část 4: Zkušební metoda pro kovové a nekovové povlaky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [25] ČSN 68 4063: *Čisté chemikálie a činidla – Voda destilovaná*. Praha: Český normalizační institut, 1983.
- [26] Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s. *Kvalita pitné vody* [online]. URL: < http://smvak.asp2.cz/www_VDJ.pdf > [cit. 2012-04-19].
- [27] Garten.cz. *Voda – její vlastnosti a podmínky pro použití* [online]. URL:<<http://www.garten.cz/a/cz/4809-voda-jeji-vlastnosti-a-podminky-pro-pouziti-2/>> [cit. 2012-04-15].
- [28] Provozní kapaliny. *O destilované vodě* [online]. URL: < <http://destilovanavoda.webnode.cz/o-destilovane-vode/> > [cit. 2012-04-15].
- [29] VIŠŇOVÁ, H. ZACHAŘ, P. ZÁRUBA, K. *Potenciometrické měření pH* [online]. URL: < http://www.vscht.cz/anl/lach1/3_Pot-pH.pdf > [cit. 2012-04-09].
- [30] Liebischem labortechnik *Corrosion testing units*[online]. URL: <http://www.liebischem.com/englisch/html/chest_type_units.htm > [cit. 2012-04-09].

- [31] CAMP NANO [online]. URL: <<http://www.campanano.org/web/en/equipment/index.html>> [cit. 2012-04-12].
- [32] KUDLÁČEK, J. BUREŠ, J. VÁLOVÁ, M. KREIBICH, V. *Problematika předúprav povrchu* [online]. URL:<<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>> [cit. 2012-04-12].
- [33] Mechanical adhesion [online]. URL: <[http:// http://www.unitracc.de/know-how/fachinformationssysteme/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/renovation-en/coating-measures-en/fundamentals-of-adhesion-technology-en/mechanical-adhesion-en?set_language=en](http://http://www.unitracc.de/know-how/fachinformationssysteme/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/rehabilitation/renovation-en/coating-measures-en/fundamentals-of-adhesion-technology-en/mechanical-adhesion-en?set_language=en)> [cit. 2012-04-10].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Hodnocení stupně puchýřkování (fotodokumentace)
Příloha B	Hodnocení degradace nátěrového systému (fotodokumentace)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Rovnováha mezipovrchových napětí mezi různými fázemi	6
Obr. 2 - Schéma druhů nerovností	8
Obr. 3 - Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti	10
Obr. 4 - Parametry drsnosti R_p , R_v a R_z	10
Obr. 5 - Parametr drsnosti R_a	11
Obr. 6 - Parametr drsnosti R_q	11
Obr. 7 - Parametr drsnosti R_{sk}	11
Obr. 8 - Parametr drsnosti R_{ku}	12
Obr. 9 - Příčný a podélný směr drsnosti povrchu	12
Obr. 10 - Princip měřicího profilometru	13
Obr. 11 - Princip mechanické adheze	15
Obr. 12 - Znázornění vzorku STANDARD	28
Obr. 13 - Znázornění vzorku TRUBKA	28
Obr. 14 - Povrch broušeného vzorku STANDARD (zvětšení 100x)*	30
Obr. 15 - Povrch válcovaného vzorku TRUBKA (zvětšení 100x)*	31
Obr. 16 - Obrazová stupnice množství prachu dle normy ČSN ISO 8502-3	32
Obr. 17 - Měřicí přístroj ELCOMETER 456	39
Obr. 18 - Přístroj pro měření hodnot pH - Eutech pH5+	42
Obr. 19 - Analytické váha PIONEER PA214C	43
Obr. 20 Schéma provedené zkoušky lepivosti	45
Obr. 21 – Vzorek T-RUS N P 1 po zkoušce lepivosti	45
Obr. 22 – Vzorek T-RUS N P 2 po zkoušce lepivosti	46
Obr. 23 – Vzorek T-RUS N P 3 po zkoušce lepivosti	46
Obr. 24 - Klasifikační stupně dle normy ČSN EN ISO 2409	48
Obr. 25 - Klasifikační stupně křížového řezu dle normy ČSN EN ISO 16276-2	50
Obr. 26 - Korozní komora Liebisch S400 M-TR	53
Obr. 27 - Obrazové standardy pro hodnocení delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8	56
Obr. 28 - Nanoindentační přístroj Triboindenter Ti 950	57
Obr. 29 - Schéma měření pomocí nanoindentace	58
Obr. 30 - Profil drsnosti R_a vzorku STANDARD v příčném směru (měření číslo 1 – $R_a=0,87\mu m$)	63

Obr. 31 - Profil drsnosti Ra vzorku STANDARD v podélném směru (měření číslo 1 – $R_a=0,18\mu\text{m}$)	63
Obr. 32 - Profil drsnosti Ra vzorku TRUBKA v podélném směru (měření číslo 1 – $R_a=1,3\mu\text{m}$)	63
Obr. 33 - Fázové rozhraní vzorku STANDARD s nátěrovým systémem ředěným destilovanou vodou	70
Obr. 34 - Fázové rozhraní vzorku STANDARD s nátěrovým systémem ředěným pitnou vodou.....	70
Obr. 35 - Fázové rozhraní vzorku TRUBKA s nátěrovým systémem ředěným destilovanou vodou	71
Obr. 36 - Fázové rozhraní vzorku TRUBKA s nátěrovým systémem ředěným pitnou vodou.....	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Rozdělení oblastí povrchu	5
Tab. 2 - Smáčení povrchu	7
Tab. 3 - Přehled nejpoužívanějších netoxických anikorozních pigmentů.....	19
Tab. 4 - Ukazatelé kvality pitné vody	24
Tab. 5 - Obchodní označení vzorků STANDARD	27
Tab. 6 - Mechanické vlastnosti ocelového plechu vzorku STANDARD	27
Tab. 7 - Chemické složení ocelového plechu vzorku STANDARD.....	27
Tab. 8 - Chemické složení vzorku TRUBEK.....	28
Tab. 9 - Vstupní podmínky v laboratoři při stanovení prašnosti povrchu	32
Tab. 10 - Třídy velikosti prachových částic dle normy ČSN ISO 8502-3	33
Tab. 11 - Hodnocení prašnosti povrchu vzorku STANDARD	33
Tab. 12 - Hodnocení prašnosti povrchu vzorku TRUBKA.....	34
Tab. 13 - Vstupní podmínky v laboratoři při stanovení drsnosti povrchu	35
Tab. 14 - Parametry drsnosti vzorku STANDARD v příčném směru	36
Tab. 15 - Parametry drsnosti vzorku STANDARD v podélném směru.....	36
Tab. 16 - Parametry drsnosti vzorku TRUBKA v podélném směru	37
Tab. 17 - Vstupní podmínky v laboratoři při aplikaci nátěrového systému.....	38
Tab. 18 - Vlastnosti použité pitné vody	38
Tab. 19 - Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy vzorků STANDARD	40
Tab. 20 - Hodnoty tloušťek nátěru suché vrstvy vzorků TRUBEK.....	40
Tab. 21 - Naměřené hodnoty pH nátěrového systému	42
Tab. 22 - Vstupní údaje před stanovením hmotnostního úbytku typů nátěrového systému	43
Tab. 23 - Výsledné hodnoty hmotnostního úbytku obou typů nátěrových systémů.....	44
Tab. 24 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS D P	48
Tab. 25 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS N P.....	49
Tab. 26 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS D P	51
Tab. 27 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku STANDARD S-RUS N P	51
Tab. 28 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku TRUBKY T-RUS D P.....	51
Tab. 29 - Výsledné klasifikační hodnocení vzorku TRUBKY T-RUS N P.....	52
Tab. 30 - Návrh výpočtu korozní odolnosti	53

Tab. 31 - Výsledné klasifikace puchýřkování vzorků STANDARD	54
Tab. 32 - Výsledné klasifikace puchýřkování vzorků TRUBKY	54
Tab. 33 - Výsledné klasifikace degradace vzorků STANDARD.....	56
Tab. 34 - Výsledné klasifikace degradace vzorků TRUBEK	57
Tab. 35 - Základní parametry indentačního přístroje Triboindenter Ti 950	58
Tab. 36 - Naměřené hodnoty tvrdostí nanoindentační zkouškou.....	58

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1 - Hodnocení množství prachových částic na povrchu vzorků	60
Graf. 2 - Hodnocení velikosti prachových částic na povrchu vzorků	61
Graf. 3 – Průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra	61
Graf. 4 - Průměrné hodnoty parametru drsnosti Rz	62
Graf. 5 - Porovnání závislostí váhových úbytků na čase	64
Graf. 6 - Výsledné klasifikace mřížkové zkoušky	65
Graf. 7 - Výsledné klasifikace křížového řezu	66
Graf. 8 - Tvrdost svrchní povrchové vrstvy	69